

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mirza Buljubašić

Zagreb, 2013.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

DIPLOMSKI RAD

Mentori:

Doc. dr. sc. Milan Kostelac, dipl. ing.

Student:

Mirza Buljubašić

Zagreb, 2013.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru doc.dr.sc. Milanu Kostelcu na pruženoj pomoći prilikom izrade ovog diplomskog zadatka.

Veliko hvala Katedri za transportne uređaje i konstrukcije na ne sebičnoj pomoći i prenesenom znanju tokom studiranja.

Na kraju, od srca se zahvaljujem svojoj obitelji, prijateljima i svima koji su me podržavali tijekom studija.

Mirza Buljubašić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodostrojarški i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **MIRZA BULJUBAŠIĆ**

Mat. br.: 0035138360

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Uključno-isključna spojka za rad u eksplozivnoj atmosferi**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ON / OFF clutch in the explosive environment**

Opis zadatka:

Na elektromagnetskoj uključno-isključnoj spojci namijenjenoj za normalni rad potrebno je provesti sustav zaštite oklapanjem "d" kako bi se mogla primijeniti za rad u eksplozivnoj atmosferi. Sustav oklapanja kućištem kao nosiocem protueksplozivne zaštite izvesti sukladno normi HRN IEC/EN 60079-1.

Podaci:

- nazivni moment spojke: $T = 10 \text{ Nm}$;
- brzina vrtnje: $n = 1500 \text{ min}^{-1}$;
- učestalost uključivanja: $z \leq 15 \text{ cikl./h}$;
- radna atmosfera: zapaljivi plinovi IIA;
- temperaturni razred: T3.

Rad treba sadržavati:

- uvodni dio, s razmatranjem problematike rada neelektričnih uređaja u eksplozivnoj atmosferi;
- konstrukciju spojke s kontrolnim proračunima (vratila, ležaja, itd.);
- proračun kontrolnih mjesta prema zahtjevu Ex agencije (zračnosti, sigurnosti na unutrašnji tlak od eksplozije, itd.);
- izraditi potrebnu dokumentaciju prema naputku mentora.

U radu navesti korištenu literaturu te eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

2. svibnja 2013.

Rok predaje rada:

4. srpnja 2013.

Predviđeni datumi obrane:

10., 11. i 12. srpnja 2013.

Zadatak zadao:


dr.sc. Milan Kostelac, docent

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Zvonimir Guzović

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	IX
SUMMARY	X
1. UVOD.....	1
1.1. TEMELJNA NAČELA.....	2
1.2. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA OPREMU NAMJENJENU PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM.....	1
1.2.1. PODJELA I OZNAČAVANJE.....	1
1.2.2. SKUPINE PLINOVA	7
1.2.3. TEMPERATURNI RAZREDI	8
1.2.4. EKSPLOZIVNE SMJESE	9
1.2.4.1. EKSPLOZIVNE SMJESE PLINA I ZRAKA	14
1.2.4.2. EKSPLOZIVNE SMJESE PARA ZAPALJIVIH TEKUĆINA I ZRAKA.....	17
1.2.4.3. EKSPLOZIVNA SMJESA UZVITLANE PRAŠINE I ZRAKA.....	20
1.2.5. ZONE OPASNOSTI I KATEGORIJE OPREME	22
1.3. KLASIFIKACIJA UGROŽENOG PROSTORA	25
1.3.1. PARAMETRI KLASIFIKACIJE	25
1.3.2. RASPROSTIRANJE ZONA UGROŽENOG PROSTORA.....	29
1.4. PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA OKLAPANJEM 'd'	31
1.4.1. SASTAVNI RASPORI.....	34
1.4.2. BRTVE	46
1.4.3. DODATNI ZAHTJEVI ZA OSOVINE I LEŽAJEVE.....	47
1.4.4. KUĆIŠTA	50
2. KONTROLNI PRORAČUN	55
2.1. ELEKTROMAGNETSKA SPOJKA.....	55
2.2. ELEKTROMOTOR	56
2.2.1. Odabir elektromotora na temelju ulaznih podataka za elektromagnetsku spojku 57	
2.2.2. Određivanje potrebne snage elektromotora na temelju analize radnih stanja i očekivanih opterećenja u toku rada.....	58
2.3. VRATILO - ELEKTROMOTOR	63
2.4. VRATILO - REDUKTOR	71
2.5. PERA	74
2.6. LEŽAJEVI	75
3. DOKUMENTI PREMA EX- AGENCIJI.....	78
3.1. PRORAČUN VIJAKA	78
3.1.1. Vijčani spoj poklopaca i kućišta	78

3.1.2. Vijčani spoj kućišta i prirubnice elektromotora.....	79
3.1.3. Vijčani spoj kućišta i nosača ležaja- reduktor.....	79
3.2. PRORAČUN ZRAČNOSTI	81
3.3. TEHNIČKI OPIS	88
3.3.1. Uvod.....	88
3.3.2. Tehnički opis izvedbe	88
3.3.3. Popis primijenjenih normi.....	91
3.4. UPUTE ZA UPORABU	92
3.4.1. Namjena	92
3.4.2. Tehnički podaci.....	92
3.4.3. Ugradnja.....	94
3.4.4. Stavljanje u rad s podešavanjem	94
3.4.5. Uporaba.....	95
3.4.6. Održavanje	96
3.4.7. Sastavljanje i rastavljanje.....	96
LITERATURA.....	100
PRILOZI.....	101

POPIS SLIKA

Slika 1. Pregled vrsta protueksplozijske zaštite neelektričnih uređaja, HRN EN 13463-X.....	2
Slika 2. Vremenski tijek procesa eksplozije.....	10
Slika 3. Obujamne granice eksplozivnosti.....	12
Slika 4. Pravac temperatura.....	13
Slika 5. Ovisnost tlaka eksplozije o obujmu zapaljivog plina.....	14
Slika 6. Granice eksplozivnosti za smjesu metana i zraka.....	15
Slika 7. Granice eksplozivnosti za smjesu vodika i zraka.....	15
Slika 8. Utjecaj tlaka na promjenu obujamnih granica eksplozivnosti zemnog plina (metan), DGE, GGE.....	16
Slika 9. Utjecaj temperature na promjenu obujamnih eksplozivnih granica zemnog plina (metan).....	17
Slika 10. Granice i točke eksplozivnosti para zapaljivih tekućina.....	18
Slika 11. Povezanost različitih zapaljivih svojstava (brojčane vrijednosti prikazane su za pare benzina).....	19
Slika 12. Granice eksplozivnosti zapaljivih prašina.....	21
Slika 13. Kriterij ugroženog i neugroženog prostora.....	28
Slika 14. Prostorno određivanje zona ugroženog prostora.....	29
Slika 15. Ilustracija zaštite oklapanjem 'd'.....	31
Slika 16. Tlakovi eksplozija i provjera čvrstoće kućišta.....	32
Slika 17. Temeljni zaštitni sastavi (raspori) oklapanja kućištem; a) ravni; b) cilindrični; c)sastavljeni; d) vijčani; e) labirintni.....	33
Slika 18. Udaljenosti l u zaštitnom sastavu (L- širina raspora, l- udaljenost od rupe).....	40
Slika 19. Primjer izvedbe ravnog sastava za neposrednu provjeru raspora kućišta skupine I.....	44
Slika 20. Primjer sastava s djelomično cilindričnim sastavom.....	45
Slika 21. Primjer nazubljenog zaštitnog sastava.....	45
Slika 22. Brtve u zaštitnom sastavu.....	46
Slika 23. Primjer cilindričnog zaštitnog sastava osovine rotacijskog stroja.....	47
Slika 24. Primjer zaštitnog sastava s prilagodnim sklopom za osovinu rotacijskog stroja.....	48
Slika 25. Presjek osovinskog sastava rotacijskog stroja.....	48
Slika 26. Primjer Ex čepova za zatvaranje neupotrijebljenih otvora na kućištu.....	50
Slika 27. Tolerancije i zračnosti za pričvrzne elemente/vijke.....	52
Slika 28. Dodirna površina glave pričvrsnog vijka sa smanjenim promjerom.....	52
Slika 29. Struktura pomičnih stepenica u horizontalnom položaju.....	59
Slika 30. Pojednostavljeni prikaz "vratila elektromotora".....	63
Slika 31. Dispozicija "vratila elektromotora".....	64
Slika 32. Određivanje momenta savijanja- "vratilo elektromotora".....	65
Slika 33. Dispozicija "vratila reduktora".....	71
Slika 34. Određivanje momenta savijanja- "vratilo reduktor".....	71
Slika 35. Specifikacije ležaja 3207 2RS.....	76
Slika 36. Prikaz proračunskih zračnosti.....	81

POPIS TABLICA

Tablica 1. Označavanje izvedbe protueksplozijske zaštite opreme.	4
Tablica 2. Primjer označavanja neelektrične opreme u eksplozivnoj atmosferi. HR EN 13463-1:2009.....	7
Tablica 3. Podjela plinova i para u skupine.	7
Tablica 4. Temperaturni razredi.	8
Tablica 5. Kategorizacija gorenja prema tlaku i brzini širenja plamena.	9
Tablica 6. Klasifikacija zapaljivih tekućina.	19
Tablica 7. Razredba prostora u zone opasnosti.	24
Tablica 8. Zone ugroženog prostora u odnosu na izvore ispuštanja.	28
Tablica 9. Prikaz konstrukcijskih zahtjeva na zaštitne sastave prema IEC smjernicama. [1].....	36
Tablica 10. Najmanje širine i najveći raspori sastava za skupine I, IIA i IIB	41
Tablica 11. Najmanje širine i najveći raspori za skupinu IIC.....	42
Tablica 12. Vijčani zaštitni sastavi.	43
Tablica 13. Dodatni zahtjevi za osovine i ležajeve.	49
Tablica 14. Konstrukcijski zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-0 za pričvrzne elemente.....	51
Tablica 15. Vijci za posebno zatvaranje kućišta.	53
Tablica 16. Konstrukcijski zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-1 za pričvrzne elemente.....	54
Tablica 17. Proračun max. i min. radijalne zračnosti; izlazna strana spojke (Vratilo Ø19j6).....	82
Tablica 18. Proračun max. i min. radijalne zračnosti; izlazna strana spojke (Vratilo Ø19H7)	85

POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE

MB-100-000	.....EX SPOJKA, (4 lista)
MB-100-001	.....EX KUĆIŠTE SPOJKE
MB-100-002	.....PRIRUBNICA ELEKTROMOTORA
MB-100-003	.....NOSAČ LEŽAJA - REDUKTOR
MB-100-004	.....PRITISKAČ LEŽAJA - 1
MB-100-005	.....PRITISKAČ LEŽAJA - 2
MB-100-006	.....VRATILO - REDUKTOR
MB-100-007	.....VRATILO ELEKTROMOTOR
MB-100-008	.....PLOČA ZA PODEŠAVANJE
MB-100-009	.....SLIJEPI POKLOPAC
MB-100-009	.....ISPITNI POKLOPAC 2xR1/2"
MB-100-010	.....POKLOPAC M25x1,5
MB-100-011	.....POKLOPAC M20x1,5
MB-100-012	.....ŠEŠIR SENZORA
MB-100-013	.....PODLOŠKA SPOJKE
MB-100-014	.....GREBEN
MB-100-015	.....KUTNIK
MB-100-016	.....KLIZAČ PREKIDAČA
MB-100-017	.....PRSTEN

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
A	m^2	Površina
a	m	Duljina segmenta vatrostaze
b	m	Duljina segmenta vatrostaze
b_1	-	Faktor veličine strojnog dijela kod savijanja i uvijanja
b_2	-	Faktor kvalitete površinske obrade
C	N	Dopuštena dinamička nosivost (opterećenost) ležaja
C_1	N	Stvarna dinamička nosivost (opterećenost) ležaja
c	m	Faktor udara prema vrsti pogona
c	m	Duljina segmenta vatrostaze
C_{st}	%	Stehiometrijska koncentracija zapaljive tvari u zraku
D	m	Promjer
d	m	Promjer
d	m	Duljina segmenta vatrostaze
d_{sr}	m	Srednji promjer
DGE	%	Donja granica eksplozivnosti
E	J	Energija
E_u	J	Energija uzročnika paljenja
e	m	Duljina segmenta vatrostaze
e	-	Proračunski faktor, SKF
F	N	Sila
F_{tr}	N	Sila trenja
F_L	N	Sila u ležaju
F_T	N	Tangencijalna sila
F_a	N	Aksijalna sila
F_r	N	Radijalna sila
f	m	Duljina segmenta vatrostaze, skošenje
G_S	N	Težina spojke
g	m/s^2	Gravitacijsko ubrzanje
GGE	%	Gornja granica eksplozivnosti
H	m	visina
h	m	visina
I	A	Jačina struje
i	m	Zračnost
i	-	Prijenosni omjer
i	-	Broj pera

i_T	m	Maksimalna dozvoljena zračnost
i_C	m	Konstruktivna zračnost
i_{La}	m	Najveća zračnost vanjskog prstena ležaja i glavčine
i_{Ll}	m	Najveća zračnost ležajnih tijelešaca i unutarnjeg prstena ležaja
i_S	m	Najveća zračnost sastava
i_{Li}	m	Najveća zračnost unutarnjeg prstena ležaja i rukavca osovine
i_{K1}	m	Ovalnost između dosjeda i sastava
i_{K2}	m	Ovalnost između ležaja i sastava
J	kgm ²	Moment tromosti
k	-	Konstanta za uvjete uzročnika paljenja
k	m	Minimalna radijalna zračnost
L	m	Širina sastava
L	m	Duljina
L_{10h}	sati	Vijek trajanja ležaja izražen s 90% pouzdanošću
l	m	Duljina
M	Nm	Moment savijanja
m	kg	Masa
m	m	Maksimalna radijalna zračnost
N	N	Normalna sila na podlogu
n	°/min	Broj okretaja
P	W	Snaga
P	N	Dinamičko ekvivalentno opterećenje ležaja
p	Pa	Tlak
p	%	Koncentracija maksimalnog tlaka eksplozije
R	J/kgK	Plinska konstanta
r	m	Radius
S	-	Faktor sigurnosti
s	s	vrijeme
s	%	Koncentracija stehiometrijske smjese
T	°C	Temperatura
T_{kr}	°C	Temperatura skrućivanja
T_{pl}	°C	Temperatura plamišta
T_k	°C	Temperatura ključanja
T_P	°C	Temperatura pare
T_p	°C	Temperatura paljenja uzvitlane prašine
T_{ti}	°C	Temperatura tinjanja
T_u	°C	Temperatura uzročnika paljenja
T	Nm	Okretni moment
T_E	Nm	Inercijski okretni moment

t	s	Vrijeme
V	m^3	Volumen
v	m/s	Brzina
z	uključenja/satu	Broj uključenja
α_0	-	Faktor čvrstoće materijala
β_{kf}	-	Faktor zareznog djelovanja kod savijanja
β_{kt}	-	Faktor zareznog djelovanja kod uvijanja
ε	rad/s^2	kutno ubrzanje
η	%	Iskoristivost
φ	-	Faktor udara
ω	rad/s	Kutna brzina
σ	N/mm^2	Naprezanje
σ_{jDN}	N/mm^2	Dinamička izdržljivost na savijanje pri naizmjeničnom opterećenju
σ_T	N/mm^2	Granica tečenja
τ_{DN}	N/mm^2	Dinamička izdržljivost na uvijanje pri naizmjeničnom opterećenju

SAŽETAK

Prostori ugroženi eksplozivnom atmosferom zahtijevaju posebnu pažnju prilikom ugradnje i instalacije neelektričnih uređaja, koji u eksploatacijskim uvjetima mogu biti uzročnik paljenja zapaljive, eksplozivne atmosfere. Obzirom na ugroženost prostora kao i svojstva same opreme u eksploatacijskim uvjetima, postoji niz propisa i zakonskih odredbi koji se postavljaju na neelektričnu opremu kako bi ista mogla biti certificirana i odobrena od strane odgovarajućeg državnog tijela – Ex agencije.

Zahtjevi koji se postavljaju na neelektričnu opremu propisani su normama, te se iste moraju koristiti pri konstruiranju i izvedbi odgovarajuće vrste zaštite.

U ovom radu, prikazana je osnovna problematika rada neelektričnih uređaja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Obraduje se sustav zaštite oklapanjem 'd', te se isti primjenjuje u svrhu zaštite elektromagnetske spojke namijenjene radu u eksplozivnoj atmosferi. Zaključno, rad je popraćen osnovnim dokumentima, (prema Ex agenciji), potrebnim za tehnički nadgled i certifikaciju predmetne spojke.

Ključne riječi:

protueksplozijska zaštita, oklapanje, oklapanje 'd', neelektrični uređaji, eksplozivna atmosfera, eksplozivne smjese, elektromagnetska spojka,

SUMMARY

Endangered areas with explosive atmospheres requires special attention during installation of non-electrical devices, which in exploitative conditions may cause ignition of combustible, explosive atmospheres. According to vulnerability of endangered space as well as the equipment properties in exploitative conditions, there are a number of regulations and legislation that non-electrical equipment needs to fulfill in order to be certified and approved by the appropriate government body – (Ex- Agency).

Demands that are placed on non-electrical equipment are given in prescribed standards, which needs to be used for design and execution of appropriate types of protection.

This paper shows the basic problems of non-electrical equipment in hazardous areas. Explains the system of protection for flameproof enclosure 'd', which is applied for the protection of electromagnetic clutch intended for use in explosive atmosphere. Finally, the work is accompanied by basic documents (according to Ex-agency) necessary for technical supervision and certification of respective coupling.

Key words:

explosion protection, enclosure, flameproof enclosure 'd', non-electrical equipment, explosive atmospheres, explosive mixtures, electromagnetic coupling,

1. UVOD

Sva oprema, električna i neelektrična i njihove instalacije namijenjene prostorima ugroženima eksplozivnom atmosferom plinova, para zapaljivih tekućina i zapaljivih prašina, moraju biti na poseban način izrađeni, ispitani, instalirani i rabljeni.

U tu svrhu moraju se klasificirati prostori u podzemnim rudnicima i ostalim mjestima uporabe. Oprema i njene instalacije, namijenjene za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, moraju biti usklađene s navedenom klasifikacijom prostora i medija u kojem se koriste.

Direktivama ATEX 95 i ATEX 137, odnosno 94/9/EC i 1999/92/EU, obuhvaćena je sva oprema i instalacije električne i neelektrične opreme namijenjene eksplozivnoj atmosferi, međutim normativni dio neelektrične opreme i instalacija, iako dovoljno obrađen i obvezan u EU, kao i RH- trenutno je u procesu pripreme.

Sva električna i neelektrična oprema (Ex-oprema), čini skupinu uređaja i instalacija posebne izvedbe namijenjene za rad u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom, koja u normalnim atmosferskim uvjetima ne može biti uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere. Pod normalnim atmosferskim uvjetima smatra se atmosferski tlak nadmorske visine do 2000 m i temperature između -20°C i $+40^{\circ}\text{C}$.

Potencijalnim uzročnicima paljenja eksplozivne atmosfere smatra se sva električna oprema napona većeg od 1,5 V, struje veće od 100 mA i energije veće od 20 μJ , kao i neelektrična oprema, koja može mehaničkom iskrom, zagrijanom površinom, otvorenim plamenom, egzotermnom reakcijom ili adijabatskom kompresijom uzrokovati paljenje eksplozivne atmosfere.

Sva tehnološka oprema pripada skupini tehničke zaštite od eksplozije kao i mjerama za sprečavanje eksplozije te je regulirana nacionalnim zakonima i propisima, temeljenim na međunarodnim i nacionalnim normama. Tamo gdje nije moguće primijeniti navedene mjere, potrebno je temeljem procjene rizika provesti ublažavanje posljedica eksplozije, a ako je potrebno i pojedine dijelove opreme izvoditi otporne na eksploziju.

1.1. TEMELJNA NAČELA

Prema [1], temeljno načelo zaštite od eksplozije eksplozivne atmosfere je onemogućiti kontakt eksplozivne atmosfere s uzročnikom paljenja, što nas navodi na:

- Dobro poznavanje pojave eksplozivne atmosfere i njenu pojavnost. Njenu klasifikaciju u odnosu na tehnologiju rada, učestalost i trajanje uzimajući u obzir i kvarove u tehnologiji, ali ne i katastrofične slučajeve nepredvidive za tehnologiju. Ovo zahtjeva razredbu svojstava zapaljivih medija prema svojstvima značajnim za paljenje u obliku eksplozivne atmosfere, a to su prvenstveno temperatura paljenja i energija potrebna za inicijalno paljenje.
- Dobro poznavanje svih uzročnika paljenja, potencijalnih i stvarnih, sposobnih uzrokovati inicijalno paljenje, što iz prije navedenog navodi na temperaturu uzročnika u dodiru s eksplozivnom atmosferom i ostalim čimbenicima, kao npr. kada je temperatura dovoljno visoka, ali je nedovoljna energija za inicijalno paljenje

Sve općenite probleme zaštite od eksplozije, posebno uzročnike paljenja, obrađuje europska norma EN 1127, te je ista prihvaćena u RH; HRN EN 1127. Norma se sastoji od dva djela:

- Dio 1: OPĆI ZAHTJEVI: UZROČNICI PALJENJA (za industriju), i
- Dio 2: UZROČNICI PALJENJA (za podzemno rudarstvo)

Norma HRN EN 1127 može se smatrati krovnim tehničkim propisom za protueksplozijsku zaštitu jer obvezuje:

- Eliminiranje eksplozije primjenom primarnih mjera zaštite što se svodi na eliminiranje eksplozivne atmosfere, (npr. ventilacijom, inertizacijom) ili uzročnika paljenja
- Sprječavanje eksplozije, svim raspoloživim sredstvima zaštite, npr. primjenom odgovarajuće sekundarne zaštite za uzročnike paljenja
- Suzbijanje eksplozije u posebnim slučajevima ako je moguće, npr. u određenom trenutku ubacivanje vodene pare ili inertnog plina
- Smanjenje učinka eksplozije ako je već do nje došlo ili se nije mogla izbjeći.

1.2. TEHNIČKI ZAHTJEVI ZA OPREMU NAMJENJENU PROSTORIMA UGROŽENIM EKSPLOZIVNOM ATMOSFEROM

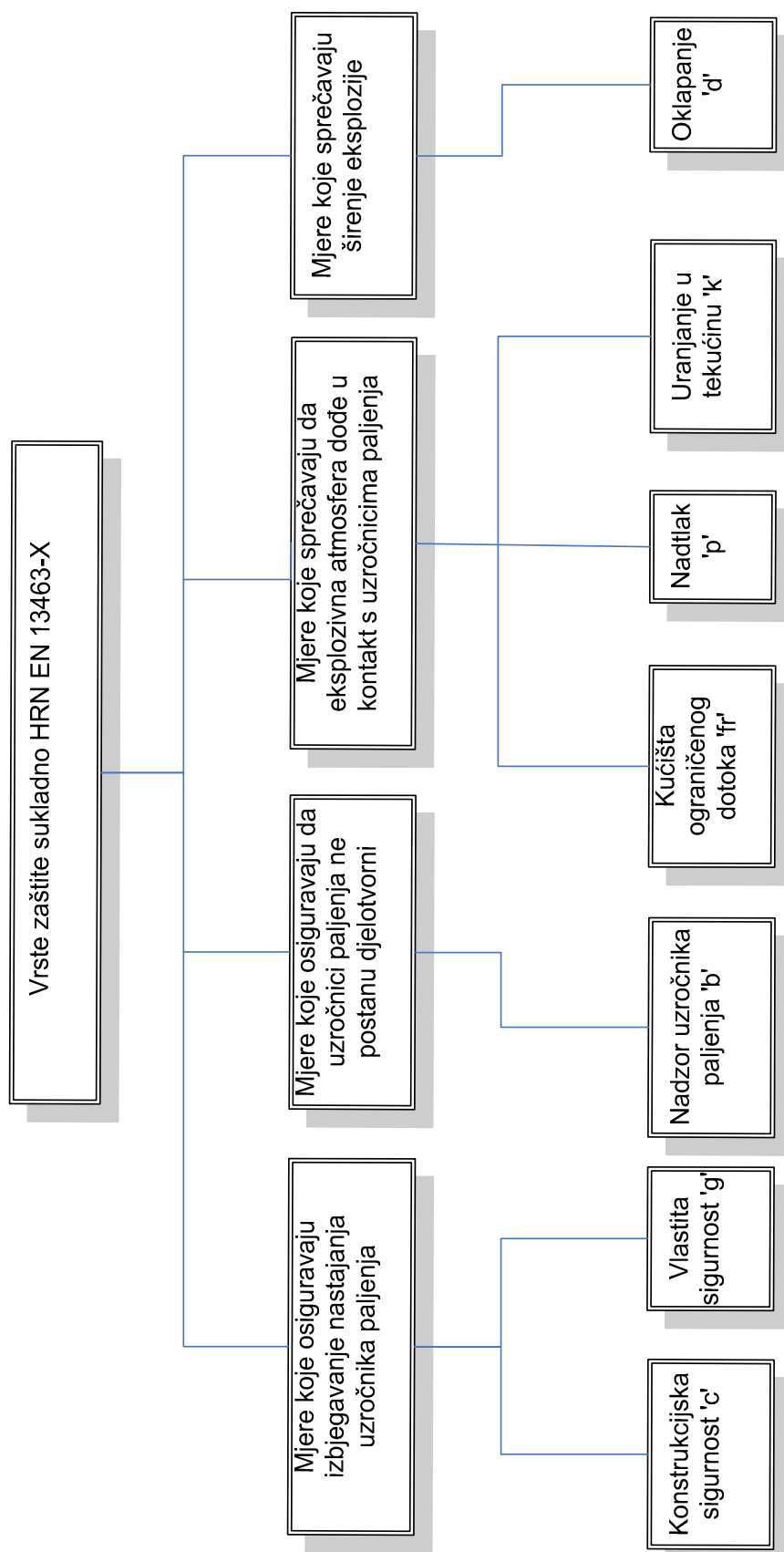
1.2.1. PODJELA I OZNAČAVANJE

Električna oprema za rad u eksplozivnoj atmosferi nosi oznaku Ex-oprema, dok za neelektričnu opremu to nije definirano ali je za očekivati isto.

Pregled pojedinih vrsta zaštite neelektrične opreme i temeljni zahtjevi izvedbe prema usklađenim normama dani su prema;

- IEC 60079-0 Eksplozivna atmosfera- dio 0: OPĆI ZAHTJEVI prema HRN EN 13463-1:2009 (Neelektrična oprema za potencijalno eksplozivne atmosfere- 1. dio: Osnovne metode i zahtjevi);
- HRN EN 13463-2:2005 (Neelektrična oprema za eksplozivne atmosfere 2.dio: Zaštita kućištem s ograničenim dotokom “fr”)
- HRN EN 13463-3:2005 (Neelektrična oprema za eksplozivne atmosfere 3.dio: Zaštita oklapanjem 'd' ; EN 13463-3:2005; usklađeno; HRN IEC/EN 60079-1)
- HRN EN 13463-5:2003 (Neelektrična oprema za eksplozivne atmosfere- 5.dio: Zaštita konstrukcijskom sigurnošću “c”; EN 13463-5:2003)
- HRN EN 13463-6:2005 (Neelektrična oprema za eksplozivne atmosfere – 6.dio: Zaštita nadzorom uzročnika paljenja “b”; EN 13463-6:2005)
- HRN EN 13463-8:2005 (Neelektrična oprema za eksplozivne atmosfere -8.dio: Zaštita uranjanjem tekućine “k”; EN 13463-8:2003)

Pregled pojedinih vrsta protueksplozijske zaštite na neelektričnim uređajima, prema HRN EN 13463-X prikazan je na slici 1.



Slika 1. Pregled vrsta protueksplozijske zaštite neelektričnih uređaja, HRN EN 13463-X.

Svaka vrsta zaštite uz opću oznaku Ex, nosi i posebnu oznaku vrste zaštite. Svaka vrsta protueksplozijske zaštite posebno se dijeli na skupine, područja primjene (Tablica 1), a označava se prema IEC:

I: za rudarstvo (M)

II: za ostala mjesta uporabe, plinovi i pare (u EU do usklađenja s IEC: 2G)

III: za ostala mjesta uporabe, prašine (u EU do usklađenja s IEC: 2D)

Daljnja podjela, s obzirom na vrstu zaštite, odnosno protueksplozijsku zaštićenu opremu, odnosi se samo na opremu za područje primjene II i III i to prema skupinama plinova i para, odnosno prašina, za koje su građeni i prema različitim temperaturnim razredima.

Ova podjela ne postoji za područje I, jer je u podzemlju rudnika plin poznat (CH_4), a najveća dopuštena temperatura odnosi se na tinjavo paljenje ugljene prašine, a iznimno na temperaturu paljenja oblaka prašine ili zapaljivog plina.

Oprema za područje primjene I gradi se za:

- Plin CH_4 (metan)
- Najveću dopuštenu temperaturu $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ na vanjskoj površini, a za dijelove zaštićene kućištem zaštitom IP 54, bez mogućnosti taloženja prašine do $450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Oprema za područje primjene II gradi se za:

- Skupine plinova A,B i C (prema energiji paljenja; IIC je najzapaljivija skupina)
- Temperaturne razrede; T1, T2, T3, T4, T5 i T6

Oprema za područje primjene III, odnosno IID, gradi se za:

- Skupine prašina A,B i C (prema vrsti prašina; vlakanca, električki nevodljive i električki vodljive prašine. IIC je najopasnija- električki vodljiva prašina; u SAD je ta podjela na; organske, ugljene i metalne prašine)

Zbirni pregled označavanja za plinove, pare i prašine dan je u tablici 1. Protueksplozijska zaštita opreme namijenjene eksplozivnoj atmosferi zapaljivih prašina temelji se na nešto drugačijim temeljima od one za plinove i pare.

Sprječava se štetan ulaz prašine u opremu koja bi mogla uzrokovati paljenje, koje bi se moglo proširiti na okolnu atmosferu. Zagrijavanje se ograničava na temperature koje ne mogu izazvati paljenje, niti oblaka zapaljive atmosfere, niti nataložene prašine u očekivanim opasnim slojevima. Pritom je veći ograničavajući faktor temperatura tinjanja od temperature paljenja oblaka uzvratne prašine.

Prema IEC, označavanje protueksplozijske opreme za slučaj prašine upisuje se i zona opasnosti kojoj je namijenjen proizvod (20,21 ili 22).

Ograničenje zagrijavanja označava se na jednak način kao i za plinove s tim da odabrani temperaturni razred mora voditi računa o koeficijentu sigurnosti u odnosu na tinjavo paljenje-sukladno dopuštenom sloju natalože prašine.

Redoslijed označavanja prema tablici 1 [1];

- Prema HRN EN- znak protueksplozijske zaštite, kategorija, plin G/prašina D, opća oznaka Ex (osim kod neelektričnih), vrsta/e primijenjene zaštite, skupina plinova ili prašina, temperaturni razred (odnosno dopuštena temperatura)
- Prema HRN IEC- opća oznaka (Ex), primijenjene vrste zaštite s razinom, skupina plinova ili prašina, temperaturni razred (temperatura), oznaka područja (M,G,D) s oznakom razine protueksplozijske zaštite opreme.
- Alternativno prema IEC- opća oznaka (Ex), primijenjene vrste zaštite, skupina plina ili prašine, temperaturni razred (ili dopuštena temperatura) i razina zaštite opreme.

Tablica 1. Označavanje izvedbe protueksplozijske zaštite opreme.

Opća oznaka	Vrsta i razina zaštite	Podvrsta zaštite	Kategorije (EN)/razine opreme (IEC)	Područje primjene	Skupine	Temp. razredi	Objašnjenje
Ex							Zajednički znak za sve vrste protueksplozijskih zaštita
ZAPALJIVI PLINOVI I PARE (G)*							
ELEKTRIČNA OPREMA							
Ex	d(b)		2G/Gb				Oklapanje 'd'
	e(b)		2G/Gb				Povećana sigurnost 'e'
	i ¹						Samosigurnost 'i'
	ia		1G/Ga				Najviša razina zaštite
	ib		2G/Gb				Viša razina zaštite
	ic		3G/Gc				Niža razina zaštite
	m ²						oblaganje
	ma		1G/Ga				Najviša razina zaštite
	mb		2G/Gb				Viša razina zaštite
	mc		3G/Gc				Niža razina zaštite
	o(b)		2G/Gb				Uranjanje
	p ³	px	2G/Gb				Pretlak (bez i s izvorom plina)
		py	3G/Gc				Pretlak (bez izvora plina)
	q(b)	pz	2G/Gb				Punjenje
	s ⁴		⁴				Naročita vrsta zaštite

	n(c)		3G/Gc				Ne paleći uređaji za zonu 2:
		A	3G/Gc				-ne iskreći uređaji
		C	3G/Gc				-iskreći uređaji, ali ne paleći
		L	3G/Gc				-ograničena energija, sada (ic)
		P	3G/Gc				Pretlak (samo za zonu 2)
		R	3G/Gc				Ograničeno disanje
			M1, M2,	I			Rudarstvo
			1/2/3G	II			Industrija (IIG)
					IIA		Ugljikovodici, metan i drugi
					IIB		Etilen, gradski plin i ostali
					IIC		Vodik, acetilen, CS ₂ , svi plinovi pare
						T1	450
						T2	300
						T3	200
						T4	135
						T5	100
						T6	85
NEELEKTRIČNA OPREMA							
Ex ⁵	b		(2/3G)				Sustav vezan na osjetila
	c						Zaštita konstrukcijom
	d						Oklapanje, kao kod el.uređaja
	f						Provjetranje, difuzijom
	k						Uranjanje
	p	x,y, z					Pretlak, kao i kod el.uređaja
			M1, M2	I			Rudnici. Kategorije ovise o izvedbi
			1/2/3G	II			Industrija. Kat. ovisi o izvedbi
			1/2/3D	III			Industrija. Kat. ovise o izvedbi
							Vrste zaštite u pravilu ne ovise o energiji paljenja
						T1	450
						T2	300
						T3	200
						T4	135
						T5	100
						T6	85
ZAPALJIVA PRAŠINA 'D'							
ELEKTRIČNA OPREMA							
	t						Zaštita kućištem (IP EN praksa)
	ta		1D/Da	III			-najviša razina zaštite IP65
	tb		2D/Db	III			-viša razina zaštite (IP65)
	tc		3D/Dc	III			-niža razina zaštite (IP 54)
	i			III			SAMOSIGURNOST za prašine(IIB plin)
	ia		1D/Da	III			-najviša razina zaštite

	ib		2D/Db	III			-viša razina zaštite
	ic		3D/Dc	III			-niža razina zaštite
	m						OBLAGANJE za prašine
	ma		1D/Da	III			-najviša razina zaštite
	mb		2D/Db	III			-viša razina zaštite
	mc		3D/Dc	III			-niža razina zaštite
	pxb		2D/Db	III			PRETLAK ⁷ za zonu 1
	(pzc)		3D/Dc	III			PRETLAK (za zonu 22)
		20 ⁶	1D/Da				Uporaba u zoni 20, razina a
		21 ⁶	2D/Db				Uporaba u zoni 21, razina b
		22 ⁶	3D/Dc				Uporaba u zoni 22, razina c
		IPx y					Zaštita kućištem t, x-stupnja zaštite od prašine: 5 i 6 y-stupnja zaštite od vode : 4, 5 i više
					A		Vlakanca i pahuljice
					B		El. nevodljive prašine
					C		El. vodljive prašine (metalne prašine)
						T*	Za sloj ≤5 mm: T _{max} ≤T _{5mm} -75 °C
						T _{12,5} *	Za sloj ≥12,5mm: T _{max} ≤T _{injanja} - 25 °C

* - uvođenjem područja III označavanje s G i D iako suvišno po IEC ostaje, a po ATEX-u ostaje IIG i IID umjesto skupine III, jer ta promjena zahtjeva promjenu ATEX-a 95; Sve oznake u () znači da se ista očekuje, odnosno u postupku je prihvaćanja

¹- nedavno uvedena niža razina zaštite 'ic' koja zamjenjuje vrstu zaštite 'nL' "ograničenje energije", što bi imalo primjenu na plinove i prašine;

²- nedavno uvedena niža zaštita 'mc'

³- ova zaštita odgovara razini 'pb', dok razina 'pc' zamjenjuje zaštitu 'nP', međutim, sadrže podvrste u odnosu na postojanje izvora plina unutar nadtlaka;

⁴- ova vrsta zaštite nije međunarodno normirana ali postoji na nacionalnoj razini, za očekivati je da će biti prihvaćena ali najvjerojatnije za posebnu opremu, a možda i za neelektričnu opremu, za koju već postoje EN norme;

⁵- opća oznaka za neelektrične uređaje, prema EN nije predviđena ali je za očekivati kao i za električne uređaje, kao i unutar IEC

⁶- vrste zaštite za prašinu mogu imati sve tri razine koje su se očitovale u oznaci primijenjene u zonama 20, 21 i 22, ali je za očekivati da će biti zamijenjeno s razinama zaštite a,b i c, bez označavanja zone

⁷ - vrsta zaštite pretlakom nije predviđena za zonu 20, već samo za zone 21 i 22, ali bez varijanti podvrste 'px', 'py' i 'pz', koja se odnosi samo na plinove.

Označavanje prema EN počinje s kategorijom i vrstom medija (M, G ili D), dok kod IEC označavanja ta oznaka dolazi na kraju. Ako se pojedinim vrstama zaštite pripiše razina zaštite onda izostaje oznaka razine opreme na kraju, u tom slučaju se ne primjenjuju oznake M,G i D jer to označavaju rimski brojevi skupina plinova ili prašina. (I, II, III). Primjer označavanja neelektrične opreme, prema HRN EN 13463-1:2009 prikazan je u tablici 2.

Tablica 2. Primjer označavanja neelektrične opreme u eksplozivnoj atmosferi. HR EN 13463-1:2009

II	2G	d	IIA	T5
Skupina	Kategorija	Vrsta zaštite	Skupina plinova	Temperaturni razredi
I	1	fr	IIA	T1
II	3	d	IIB	T2
	3	c	IIC	T3
	G- gass (plin)	b		T4
	D- dust (prašine)	p		T5
		k		T6
II	3D	k	IIC	T6

1.2.2. SKUPINE PLINOVA

Svi plinovi su podijeljeni u skupine prema energiji paljenja. Prema HRN EN 60079-20-1, izvršena je podjela u skupine IIA, IIB ili IIC i to prema svojstvima probojnog paljenja, odnosno, „najvećeg eksperimentalnog sigurnosnog raspora“ (MESG: Maximum experimental safety Gap) ili prema najmanjoj struji paljenja referentnog strujnog kruga (MIC: Minimum Ignition Current). Pregled podjele prikazan je u tablici 3 [1].

Tablica 3. Podjela plinova i para u skupine.

Skupina plinova ¹⁾	MESG mm ²⁾	MIC ³⁾
IIA	≥ 0,9	≥ 0,8
IIB	0,5 – 0,9	0,45 – 0,8
IIC	≤ 0,5	≤ 0,45

¹⁾Skupina plinova odnosi se samo na područje II jer područje I obuhvaća samo metan, odnosno zemni plin.

²⁾MESG- je najveći eksperimentalni sigurnosni raspor kod kojeg nema probojnog paljenja za širinu raspora od 25 mm izmjeren uređajem prema IEC 60079-20-1

³⁾MIC- je omjer najmanje struje paljenja prema najmanjoj struji paljenja za metan, a odnosi se na referentni induktivni strujni krug istosmjernog izvora napona 24 V uz induktivitet od 95 mH, na iskrištu prema 60079-11, što je europska i hrvatska norma.

1.2.3. TEMPERATURNI RAZREDI

Temperaturni razredi definirani su prema HRN IEC/EN 60079-0. Razredba se odnosi na električnu i neelektričnu opremu s određenom najvećom dopuštenom temperaturom po razredu. Istovremeno znači podjelu plinova i para prema temperaturi paljenja, (Tablica 4 [1]). Svrha podjele je da zagrijane površine opreme ne budu uzročnikom paljenja eksplozivne atmosfere, na način da se osigura potrebna vrsta zaštite kako do paljenja ne bi došlo. Postoji razlika u fizikalnim svojstvima plinova i para u odnosu na zapaljive prašine, te se određivanje temperaturnih razreda za zapaljive prašine ne može primijeniti ista razredba temperatura.

Pored temperaturnih razreda, oprema se može graditi za točno određenu najvišu dopuštenu temperaturu (zbroy najveće okolne temperature +40 °C i najveće dopuštene nadtemperature), npr. oprema označena s T 320, umjesto temperaturnim razredom, znači da je najveća dopuštena temperatura 320 °C, odnosno temperatura zagrijavanja opreme:

$$320-40=280\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Međutim, temperatura se može označiti i sa temperaturom T 320 °C ali i sa temperaturnim razredom koji tada dolazi u zagradama (T2)- koji ograničava zagrijavanje na 300 °C. To znači da oprema može biti upotrijebljena u atmosferi plinova i para temperaturnog razreda T2 i uz plinove „nižeg“ temperaturnog razreda T1 čija temperatura paljenja ne prelazi 320 °C.

Tablica 4. Temperaturni razredi.

Temperaturni razred	Najveća dopuštena temperatura opreme °C	Plinovi i pare s temperaturom paljenja iznad °C
T1	450 (410)	450
T2	300 (260)	300
T3	200 (160)	200
T4	135 (95)	135
T5	100 (60)	100
T6	85 (45)	85

Temperaturni razredi za prašinu mogu imati slično označavanje, s tim da se za prašine označava najveća temperatura zagrijavanja T uz uvjete nataloženog sloja prema IEC/EN i HRN. Uporaba ovisi o temperaturi tinjanja sloja i paljenja oblaka prašine, umanjene za ΔT . Sigurnosna razlika znači da najviša temperatura površine ne smije prijeći $2/3$ temperature paljenja oblaka, ali je i najmanje $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ niža od temperature tinjanja T za sloj od 5 mm. [1].

1.2.4. EKSPLOZIVNE SMJESE

Zapaljive smjese tvore sve zapaljive materijale uz prisutnost zraka, odnosno dovoljne količine kisika s kojom može doći do procesa gorenja.

Eksplozivne smjese, isto tako, tvore svi zapaljivi materijali koji uz prisutnost određene količine zraka (kisika) mogu dovesti do lančane reakcije gorenja, koje opet, zbog brzine širenja može preći u detonaciju.

Ako dođe do gorenja s materijama koje inače tvore i eksplozivne smjese, u određenim okolnostima to gorenje može biti i ubrzano, ali bez lančane reakcije kao kod eksplozije, onda taj proces nazivamo buktanjem.

Ukoliko sve procese gorenja fizikalno predstavimo preko brzine širenja i tlaka eksplozije, razlikujemo, prema tablici 5 [2];

Tablica 5. Kategorizacija gorenja prema tlaku i brzini širenja plamena.

Proces gorenja	Brzina širenja plamena (m/s)	Predtlak (bara, 10^{-1} MPa)
BUKTANJE	Do 2	-
EKSPLOZIJA	0,5 do 30	4 do 10
DETONACIJA	1000 do 4000	10 do 16

U svakom slučaju, da dođe do opasnih procesa, moramo imati opisani medij i uzročnika paljenja koji će izvršiti inicijalno paljenje dotične smjese. Pritom nas prvenstveno zanimaju eksplozivni mediji kojima razni električni i neelektrični uređaji mogu biti uzročnik paljenja. Iz toga razloga potrebno je izvršiti kategorizaciju zapaljivih smjesa, te prema njima izvesti odgovarajuću zaštitu na uređajima.

Eksplozivne smjese mogu činiti sva tri agregatna stanja uz određeno prisustvo zraka (kisika), kao:

- Zapaljivi plinovi
- Pare zapaljivih tekućina
- Zapaljiva prašina u zraku

Svi ti zapaljivi mediji tvore eksplozivne smjese samo u određenim okolnostima unutar određenih granica, kao što su:

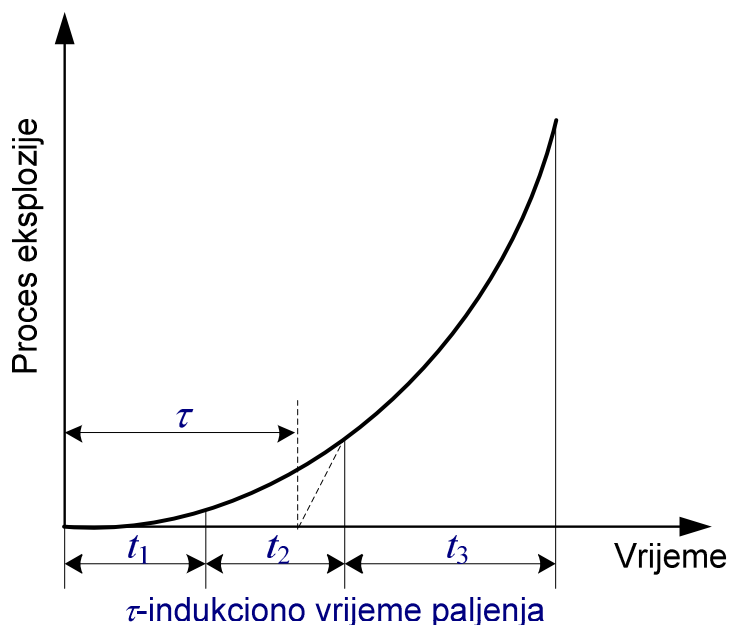
- Obujamni odnosi (koncentracija)
- Tlak
- Temperatura smjese

Spomenuti parametri imaju svoje granice unutar kojih može doći do inicijalnog paljenja, a zatim i do lančane reakcije koja dovodi do eksplozije.

Proces eksplozije možemo podijeliti na tri osnovna dijela, i to:

- Inicijalno paljenje
- Lančana reakcija gorenja
- Izgaranje sagorivog ostatka

Takav slijed procesa razvijanja eksplozije može se prikazati dijagramski u ovisnosti o vremenu- Slika 2 [2].



Slika 2. Vremenski tijek procesa eksplozije.

Iako ovakav slijed tumačenja ima svoje fizikalno značenje, početak procesa eksplozije karakterizira tzv. indukciono vrijeme paljenja eksplozije.

Indukciono vrijeme paljenja eksplozije definiramo kao karakteristiku eksplozije. To znači da na indukciono vrijeme utječu i karakteristike eksplozivne smjese i uvjeti u kojima je uzrokovano paljenje. Indukciono vrijeme možemo izraziti približno matematičkim izrazom (1)[2]:

$$\tau = \frac{k}{P^n} e^{\frac{E}{RT}}$$

Indukciono vrijeme paljenja daje kvalitativan uvid u utjecaj pojedinih fizikalnih veličina koje utječu na početku procesa gorenja u obliku eksplozije.

Tlak smjese neposredno ubrzava proces paljenja kao i temperatura i vrijednost plinske konstante, dok veličina kritične energije usporava proces.

Kako će se razvijati proces eksplozije nakon inicijalnog paljenja ovisi o sastavu same eksplozivne smjese, što također ima odraz i na sam početak procesa paljenja.

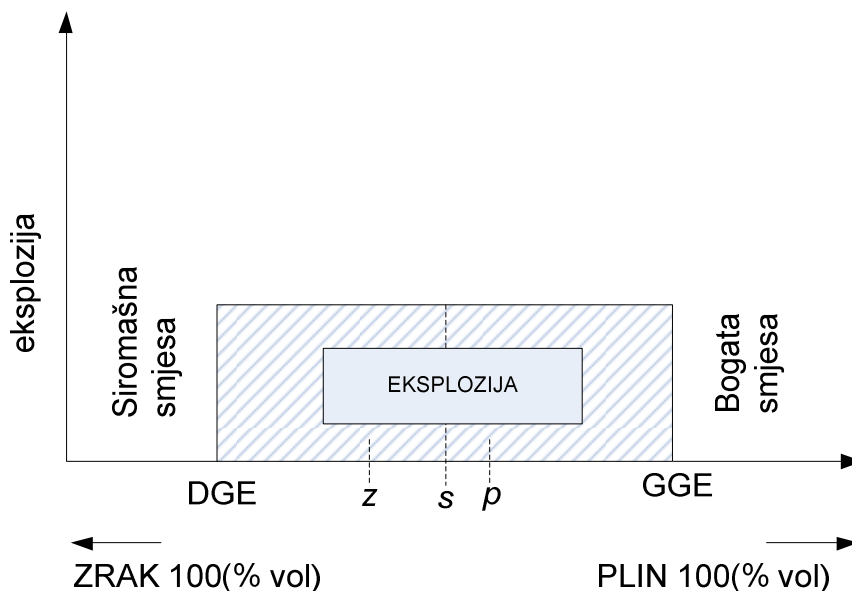
Dalje, razlikujemo vrstu smjesa s obzirom na omjere gorive materije i kisika; ukoliko imamo gorive materije u suvišku, na način da se potroši sav raspoloživi kisik, a gorive materije ostane u suvišku- govorimo o bogatoj smjesi. Analogno- ukoliko imamo kisika u suvišku, a sva goriva materija izgori- govorimo o siromašnoj smjesi. Točan omjer potrebnog kisika za izgaranje i gorive materije nazivamo stehiometrijski odnos- u tom slučaju potroši se sav raspoloživi kisik, kao i goriva materija. Gorivu materiju, u kontekstu eksplozivnih smjesa, čini gorivi plin ili goriva prašina koja s zrakom (kisikom) čini eksplozivnu smjesu.

Najintenzivniju eksploziju imamo u slučaju stehiometrijskog odnosa. Koncentracija, bilo smanjenja ili povećana, definira granice ispod/iznad, kod kojih paljenje eksplozivne smjese više nije moguće, a time je uklonjena i opasnost od same eksplozije.

Razlikujemo:

- Donju granicu eksplozivnosti- predstavlja najveći obujamni postotak odnosa eksplozivnog plina u smjesi plina i zraka ispod stehiometrijske koncentracije kod kojeg još ne dolazi do eksplozije nakon inicijalnog paljenja
- Gornja granica eksplozivnosti- predstavlja najmanji postotak iznad stehiometrijske koncentracije kod kojeg još ne dolazi do eksplozije nakon inicijalnog paljenja

U koncentracijama izvan ovih obujamnih granica ne može doći do eksplozije smjese zbog premale količine plina ili zbog premale količine raspoloživog kisika, tako da ni u jednom slučaju ne može doći do inicijalnog paljenja eksplozije. Navedene obujamne odnose (koncentracije), prema mogućnostima nastajanja eksplozije prikazuje slika 3 [2].



Slika 3. Obujamne granice eksplozivnosti.

z- koncentracija minimalne energije paljenja

p- koncentracija maksimalnog tlaka eksplozije

s- stehiometrijska smjesa (izgaranje bez ostatka zapaljivog medija i kisika)

Vidljivo iz slike 3, osim gornje i donje granice eksplozivnosti, razlikujemo i smjese u obujamnim odnosima (koncentracijama), označenim s z i p, a to su;

- Smjese koje se pale najmanjom energijom uzročnika paljenja (najzapaljivija smjesa)
- Smjese koje daju najveći tlak
- Smjese koje imaju najveću brzinu porata tlaka eksplozije (najbrizantnije smjese)

Neovisno o koncentracijskim odnosima, da bi došlo do eksplozije eksplozivna smjesa se mora inicijalno zapaliti. Uzročnik inicijalnog paljenja mora imati dovoljnu energiju i temperaturu. Skraćeno, uvjeti koje mora zadovoljiti inicijalni uzročnik paljenja su:

- Energija iznad minimalne energije paljenja dotične eksplozivne smjese, da bi podržao, i

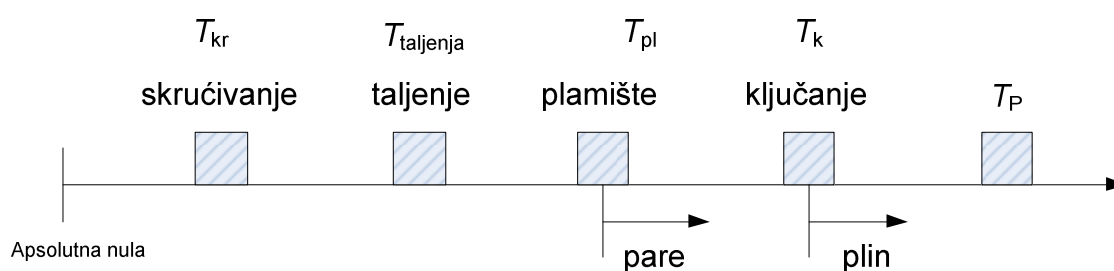
- Temperaturu iznad najmanje temperature paljenja dotične eksplozivne smjese

Minimalna energija paljenja je ona energija koja pouzdano pali eksplozivnu smjesu, analogno-vrijedi i za minimalnu temperaturu paljenja dotične eksplozivne smjese.

Energiju uzročnika paljenja možemo smatrati onom toplinskom energijom koja uzrokuje inicijalno paljenje i koje treba trajati određeno vrijeme koje je veće ili jednako indukcijom vremenu paljenja eksplozivne smjese.

Dodatno pojašnjenje temperature paljenja možemo prikazati slikom 4 [2], gdje je ilustrativno prikazan pravac temperature za sva agregatna stanja zapaljive materije.

TEMPERATURE



Slika 4. Pravac temperatura.

Razlikujemo tri agregatna stanja; krutina, kapljevina i plin. S obzirom na temperaturu materije pri apsolutnom tlaku atmosfere imamo, prema slici 4, slijedeće faze;

- T_{kr} definira temperaturu u kojoj se materija nalazi u krutom stanju
- $T_{taljenja}$ definira temperaturu tališta pri kojoj krutina prelazi u kapljevinu (tekuće stanje)
- T_{pl} definira temperaturu plamišta kod koje materija počinje djelomično isparivati
- T_k temperatura ključanja- vrelišta, je ona temperatura pri kojoj materija prelazi u stanje pare te u cijelosti egzistira samo u plinovitom obliku

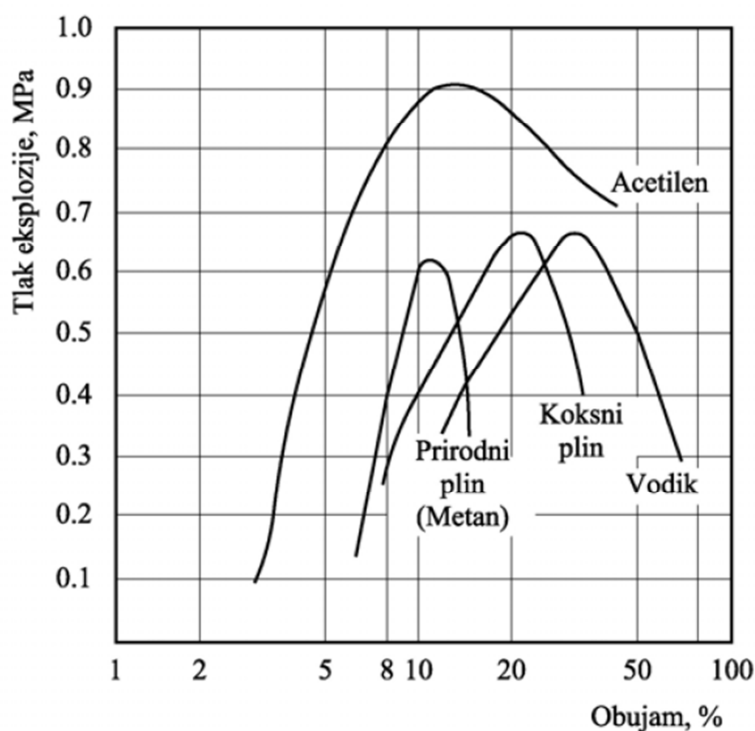
Kad pare zapaljive materije uz prisustvo kisika dođu na temperaturu paljenja- zapale se i izgaraju u obliku eksplozije. To znači da je temperatura paljenja najviša temperatura pare kod koje još ne dolazi do paljenja.

Navedeni uvjeti vrijede za sve smjese zapaljivog plina (pare, maglice ili prašine) sa zrakom. Valja naglasiti da se kod povećane koncentracije kisika granice eksplozivnosti pomiču u smjeru proširenja eksplozivnosti, analogno- kod smanjenog postotka kisika, područje

eksplozivnosti se sužava (povećanje donje granice eksplozivnosti i smanjenje gornje granice eksplozivnosti).

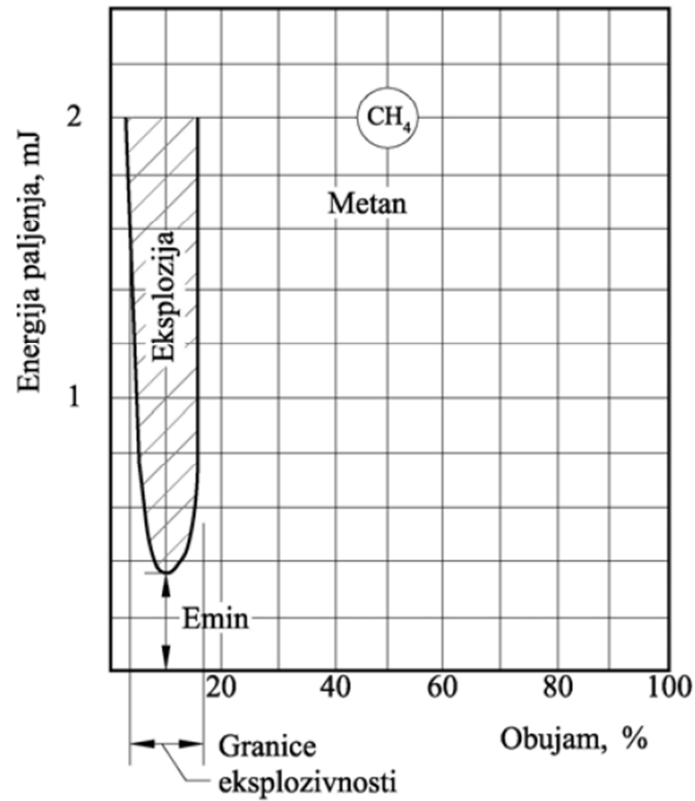
1.2.4.1. EKSPLOZIVNE SMJESE PLINA I ZRAKA

Eksplozivne smjese plina i zraka nastaju miješanjem zapaljivog plina i zraka te postaju eksplozivne ukoliko se nalaze u obujamnim odnosima između donje i gornje granice eksplozivnosti. Granice eksplozivnosti mogu se prikazati u obujamnim ili masenim omjerima koncentracije. U ovisnosti o obujmu plina u zraku (ili masi) moguće je odrediti tlak eksplozije, slika 5. [3].

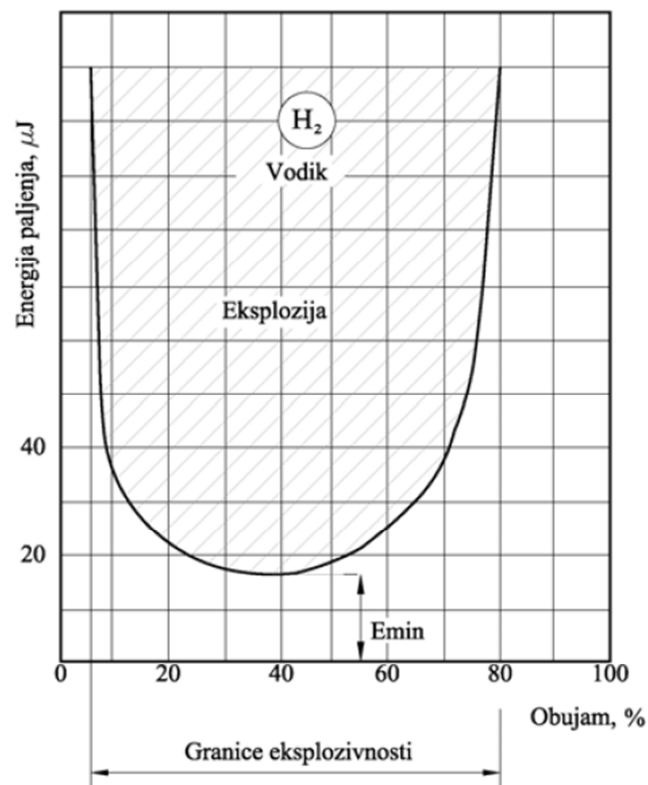


Slika 5. Ovisnost tlaka eksplozije o obujmu zapaljivog plina.

Ovisnost tlaka eksplozije o vremenu prikazuje slika 6. [3] Tlak raste brzo do najviše vrijednosti u razdoblju u nekoliko milisekundi. U prikazanom slučaju krivulja se odnosi na eksploziju metana, no izgled krivulje je tipičan za većinu zapaljivih plinova i para. Na slikama 6 i 7 prikazani su primjeri za smjese vodika i metana sa zrakom. Granice eksplozivnosti za smjesu vodika i metana sa zrakom značajno se razlikuju i po koncentraciji i po potrebnoj energiji paljenja. Eksplozivnu smjesu uz uvjete eksplozije čini označeno područje na slikama 6 i 7, s označenim vrijednostima najmanje energije paljenja E_{\min} uz odgovarajuće uvjete, npr. tlak i temperatura okoliša.



Slika 6. Granice eksplozivnosti za smjesu metana i zraka.



Slika 7. Granice eksplozivnosti za smjesu vodika i zraka.

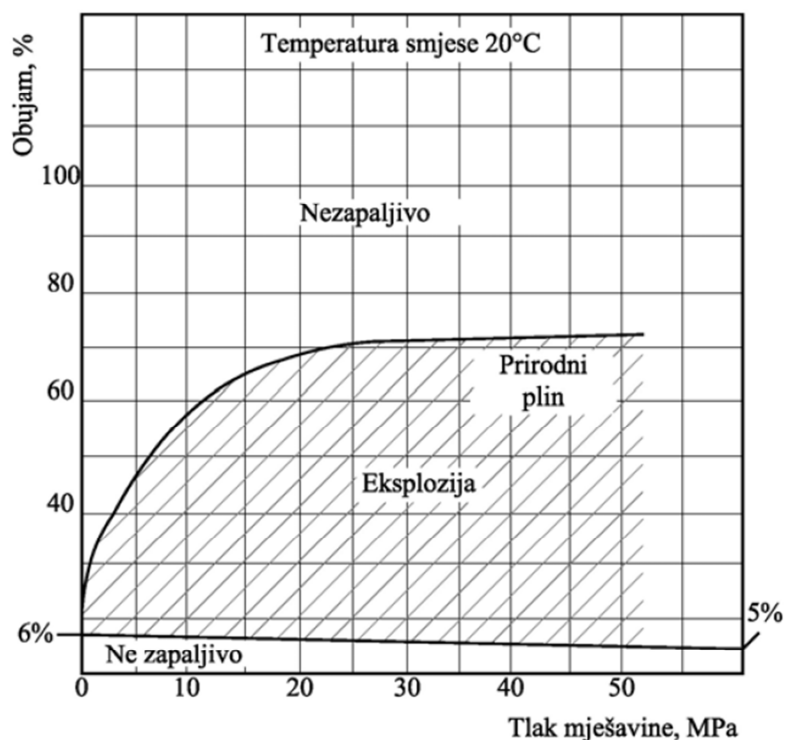
Gornju i donju granicu eksplozivnosti za većinu ugljikovodika možemo odrediti prema izrazima:

$$DGE=0,55 C_{st}$$

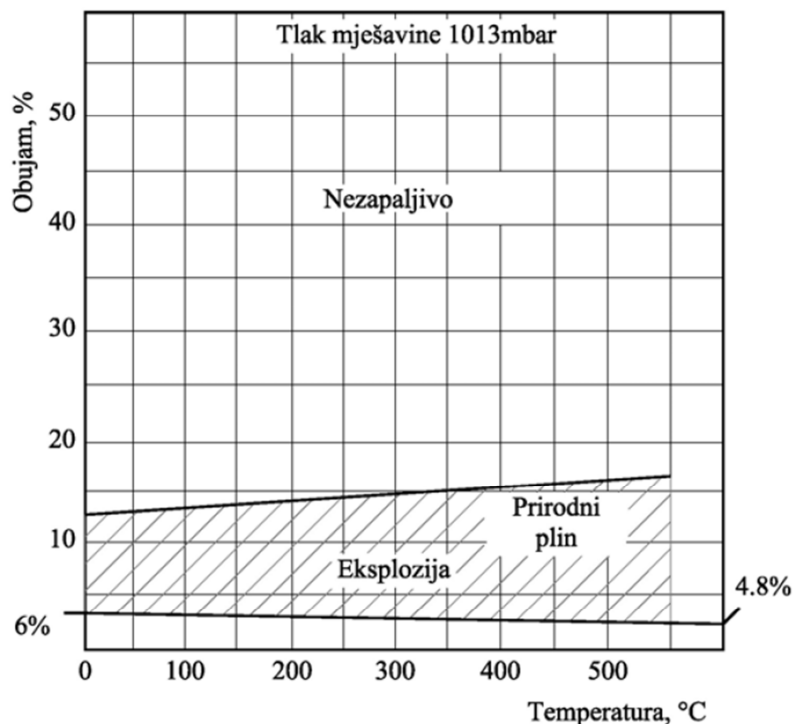
$$GGE= 3,5 C_{st}$$

Na granice eksplozivnosti plinske smjese utječu tlak i temperatura smjese. Što znači da se uz zadovoljene uvjete zapaljivosti, minimalna energija i temperatura, granice eksplozivnosti mijenjaju promjenom tlaka i temperature smjese.

Na slici 8 [1] prikazan je utjecaj tlaka na promjene obujamnih granica eksplozivnosti zemnog plina (metana), dok slika 9 [1] prikazuje utjecaj temperature.



Slika 8. Utjecaj tlaka na promjenu obujamnih granica eksplozivnosti zemnog plina (metan), DGE, GGE



Slika 9. Utjecaj temperature na promjenu obujamnih eksplozivnih granica zemnog plina (metan)

1.2.4.2. EKSPLOZIVNE SMJESE PARA ZAPALJIVIH TEKUĆINA I ZRAKA

Neelektrična oprema često se nalazi u prostorima zapaljivih tekućina i njihovih para. Ishlapljivanjem ili isparivanjem zapaljive tekućine, ovisno o temperaturi i tlaku, stvara se eksplozivna atmosfera. Zapaljive kapljevine početi će ishlapljivati čim temperatura kapljevine uzrokuje da parcijalni tlak pare površine kapljevine postane veći od tlaka zraka iznad površine kapljevine.

Brzina isparivanja je proporcionalna razlici parcijalnog tlaka para neposredno iznad površine zapaljive kapljevine i parcijalnog tlaka para u okolnoj atmosferi, podalje od površine tekućine (Daltonov zakon ishlapljivanja).

Koncentracija DGE se doseže kad temperatura kapljevine dosegne temperaturu plamišta (svojstveno za svaku kapljinu), kod temperature plamišta, na površini tekućine nastaje takav parcijalni tlak koji uzrokuje isparivanje iznad DGE. To vrijedi za uvjete normalnog atmosferskog tlaka. Naime, intenzitet ishlapljivanja uz temperaturu:

$$T > T_{pl}$$

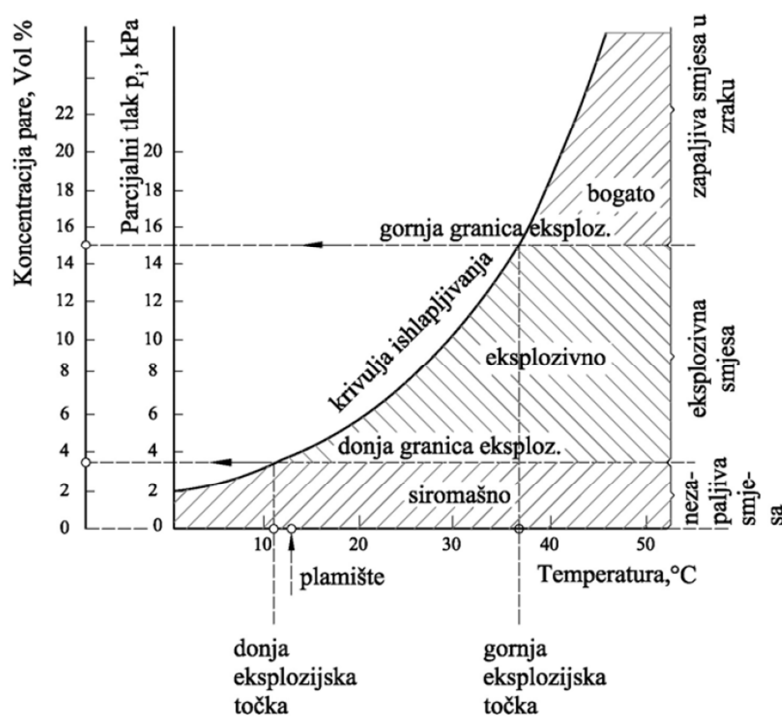
Temperatura plamišta T_{pl} °C ovisna je o razlici atmosferskog tlaka i parcijalnog tlaka ishlapljivanja kapljevine.

Kapljevine kojima je plamište ispod okolišne temperature čine eksplozivnu smjesu na okolišnoj temperaturi te se općenito smatraju opasnijima od onih s višim plamištem. Kapljevine s višim plamištem postaju opasne ukoliko se zagrijavaju iznad temperature plamišta.

Ishlapljivanje zapaljivih tekućina u zatvorenom prostoru dovodi do povećanja tlaka ali i smanjenja temperature okolne atmosfere jer energiju potrebnu za ishlapljivanje daje okolni zrak (ukoliko se kapljevina ne zagrijava).

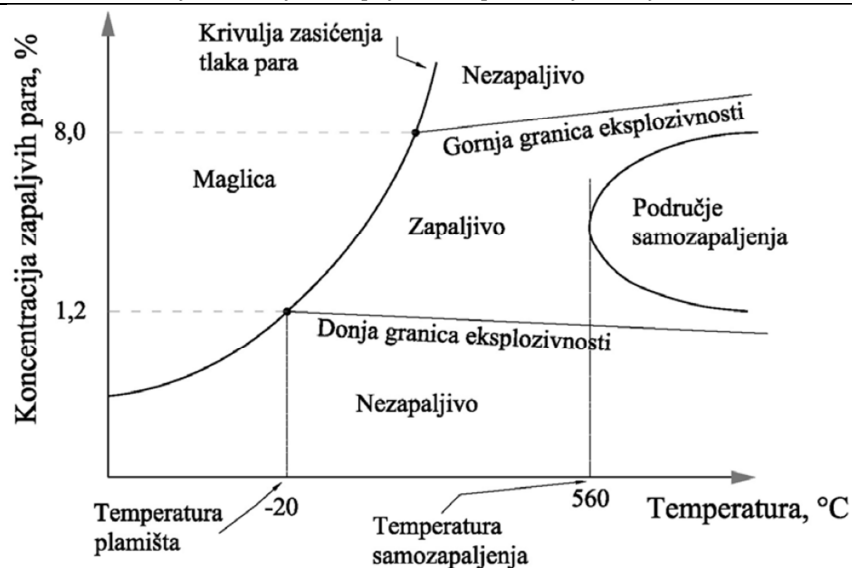
U tom slučaju, kod povećanja okolnog atmosferskog tlaka, biti će potrebna viša temperatura, odnosno viši parcijalni tlak kako bi se ishlapljivanje nastavilo.

Na taj način, povećati će se i koncentracija para u prostoru i stvoriti eksplozivnu atmosferu. Takav proces ishlapljivanja zapaljive kapljevine prikazuje slika 10.



Slika 10. Granice i točke eksplozivnosti para zapaljivih tekućina.

[3] Na slici 11 prikazana je ovisnost pare zapaljive tvari o temperaturi. Također je prikazana povezanost temperature plamišta s krivuljom zasićenja tlaka para te donjom i gornjom granicom zapaljivosti. Krivulja zasićenosti tlaka para je eksponencijalna krivulja čiji je porast brži s povišenjem temperature. Donja granica eksplozivnosti (DGE) presijeca krivulju tlaka para i temperaturu plamišta. Na višim temperaturama nalazi se područje samozapaljenja, a najniža temperatura toga područja je temperatura samozapaljenja [3].



Slika 11. Povezanost različitih zapaljivih svojstava (brojčane vrijednosti prikazane su za pare benzina)

Klasifikacija zapaljivih tekućina u skupine ima svrhu da tekućine dijeli prema uvjetima rukovanja, i to na:

- I skupinu: U svim slučajevima uz prisutnost zapaljive tekućine podskupina:
 - 1.1 plamište $< 23^{\circ}\text{C}$ i vrelište $< 38^{\circ}\text{C}$
 - 1.2 plamište $< 23^{\circ}\text{C}$ i vrelište $> 38^{\circ}\text{C}$
 - 1.3 plamište $> 23^{\circ}\text{C}$
- II skupinu: Samo pod naročitim okolnostima može doći do stvaranja eksplozivne atmosfere. U zatvorenim prostorima (posebno ako su klimatizirani) smatra da normalna temperatura neće izazvati intenzivnije isparivanje. Međutim, u zagrijanim prostorima ili prostorima izloženim suncu može doći do isparivanja.
- III skupinu: U normalnim okolnostima ne može doći do stvaranja eksplozivne atmosfere, osim ako se tekućina grije iznad temperature plamišta.

[1]Prema inozemnoj praksi, razredba zapaljivih tekućina prikazana je u tablici 6 [1].

Tablica 6. Klasifikacija zapaljivih tekućina.

Skupine	Plamište			
	VDE ($^{\circ}\text{C}$)	BSS ($^{\circ}\text{F}$)	BSS ($^{\circ}\text{C}$)	HR propisi ($^{\circ}\text{C}$)
I	< 21	< 90	< 32	< 38
II	21-55	90-150	32-66	38-55
III	> 55	> 150	> 66	> 55

1.2.4.3. EKSPLOZIVNA SMJESA UZVITLANE PRAŠINE I ZRAKA

Eksplozivna smjesa prašine i zraka predstavlja posebnu grupu opasnosti. Zbog fizikalnih različitosti u odnosu na zapaljive smjese plinova i para zapaljivih tekućina s zrakom, zapaljiva prašina klasificira se prema HRN IEC/EN 60079-20-1 i to prema:

- Učestalosti i trajanju oblaka
- Mogućnosti taloženja
- Istovremenosti jedne i druge pojave (npr. u zatvorenim procesnim postrojenjima)

Razlikujemo dvije glavne pojave zapaljive prašine, prva je nataložena prašina (sloj) koji potencijalno može prerasti u drugi oblik, a to je uzvitlana prašina ili oblak. Zapaljiva uzvitlana prašina s zrakom čini eksplozivnu smjesu. Svojstva eksplozivne smjese uzvitlane prašine i zraka opet ovise o vrsti prašine, njenoj vlažnosti, granulaciji, električnoj vodljivosti itd.

S obzirom na vrste zapaljive prašine dijelimo ih u tri skupine:

- Vlakanca ili pahuljice, prašine s česticama većih dimenzija
- Organske prašine, npr. prehrambene, žitarice, plastične i slične električki nevodljive prašine, pa i neke ugljene prašine
- Električki vodljive prašine, metalne prašine, ponekad i ugljene

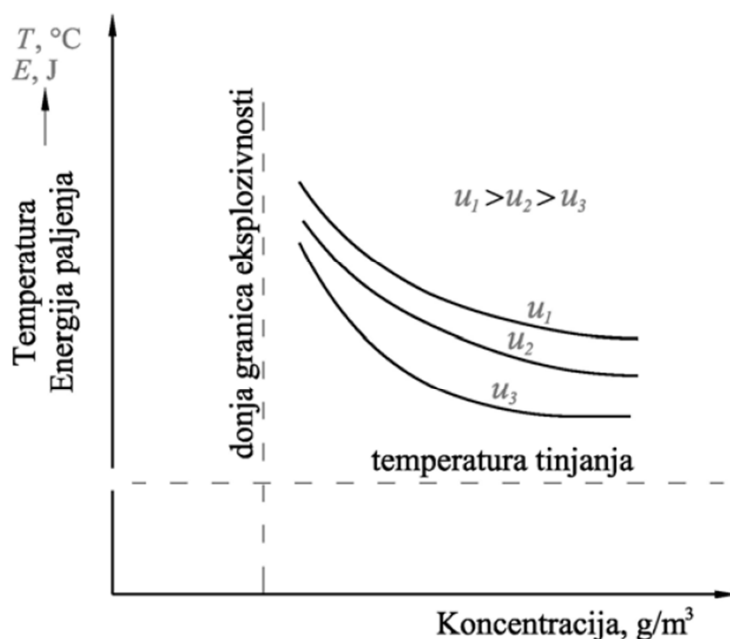
Na eksplozivnost smjese prašine i zraka uvelike utječe, osim vrste prašine i veličina čestica prašine u zraku. Što je veličina to manja to se eksplozivna smjesa prašine i zraka više približava svojstvima zapaljivih plinova i para. Što je granulacija prašine finija to je energija potrebna za inicijalno paljenje oblaka prašine manja.

Posebnu opasnost predstavlja nataložena prašina koja može prerasti u uzvitlanu prašinu i na taj način stvoriti eksplozivnu atmosferu. Na primjer, ukoliko se nataložena prašina nalazi na površini čija je temperatura viša od temperature tinjanja prašine, prašina će se zapaliti, a proces izgaranja će uzrokovati uzvitlavanje prašine i tako uzvitlana postaje eksplozivna. Isto tako, u slučaju nataložene prašine uslijed određenog poremećaja, zapuh vjetra, propuh i sl. može dovesti do uzvitlavanja prašine.

Ukoliko je prašina pri tome bila na površini čija je temperatura uzrokovala tinjanje ili u trenutku uzvitlavanja postoji uzročnik paljenja koji može zapaliti nastalu smjesu- doći će do eksplozije.

Svojstveno za prašine je mogućnost povećanja temperature. Na primjer, ukoliko se prašina nalazi na površini čija je temperatura ispod temperature tinjanja, kroz vrijeme, doći će do povećanja temperature u samom sloju prašine. Ukoliko temperatura dosegne granicu tinjanja može doći do uzvrtlavanja i formiranja eksplozivne atmosfere.

Temperatura tinjanja prašine definirana je kao najmanja temperatura pri kojoj dolazi do samozapaljenja nataloženog sloja od 5 mm prašine na zagrijanoj površini. Utvrđivanje DGE temelji se na određivanju koncentracije uzvrtlane prašine u zraku, mjereno u g/m^3 . Na slici 12 prikazana je ovisnost minimalne energije paljenja u ovisnosti o koncentraciji zapaljive prašine.



Slika 12. Granice eksplozivnosti zapaljivih prašina.

[2] Postojanje uzvrtlane prašine u zraku tehnološki se rijetko kad pojavljuje, osim u zatvorenoj tehnološkoj opremi kao što su silosi, cikloni, transportna oprema i sl., a u normalnim uvjetima rada i u ugljenokopima. U takvim prostorima sigurno je da su u većini slučajeva koncentracije unutar granica eksplozivnosti.

Za paljenje eksplozivne smjese uzvrtlane prašine moramo imati temperaturu i energiju uzročnika paljenja [2]:

$$T_u \geq T_{ti}$$

$$E_u \geq E_{\min}$$

$$T_u \geq T_p$$

Paljenje tinjanjem nastupiti će ako je temperatura površine T na kojoj je nataložena prašina:

$$T > T_{ti}$$

[3]Mogući utjecaj tinjavog paljenja na uzvrtlavanje eksplozivne smjese prašine i zraka možemo prikazati slijedom:

tinjavo paljenje → buktanje → uzvrtlana prašina

Za rudnike s podzemnom eksploatacijom ugljena, prašina može biti posebno neugodna. Naime, paljenje i najmanje količine metana, tj. jamskog plina, redovito uzrokuje uzvrtlavanje ugljene prašine koja se istodobno i zapali eksplozijom plina pa dolazi do tzv. lančane eksplozije prašine koja može doseći katastrofalne razmjere [3]. Takav slijed možemo prikazati nizom:

eksplozija CH_4 → uzvrtlavanje prašine → eksplozija prašine

Razvrstavanje prašine prema temperaturnim razredima, kao je već rečeno, zbog fizikalnih razlika u odnosu na plinove i pare- krenuvši od veličine čestica, vrsti prašina itd.. nije moguće klasificirati prašine u temperaturne razrede kao i zapaljive plinove i pare. Razredba u temperaturne razrede kod prašina temelji se na minimalnoj temperaturi tinjanja sloja nataložene prašine od 5 mm.

$T_{\max} < T_{ti} - 75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (5mm); ili umanjeno za $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ za debeli sloj prašine od 12,5 mm (prema SAD praksi)

$T_{\max} < 2/3 T_p$ (za oblak prašine)

1.2.5. ZONE OPASNOSTI I KATEGORIJE OPREME

[1], sva certificirana protueksplozijska oprema namijenjena je zonama ugroženog prostora u kojima se može upotrebljavati. Svaki uređaj na svom pojedinačno dokumentu u R. Hrvatskoj, K-certifikatu ili proizvođačkoj izvavi (ranije pojedinačnom ispitivanju proizvođača) ima navedene zone ugroženog prostora u kojima se može upotrebljavati (0, 1 ili 2), što označava i kategorizaciju uređaja.

Prema ATEX-u 95 i Pravilnikom o zahtjevima za sukladnost opreme. NN br.34/10 zahtijeva se, prema izvedbi protueksplozijske zaštite, kategorizacija opreme kako bi joj bila predodređena i moguća uporaba u pojedinoj klasificiranoj zoni. Podjela je provedena u tri kategorije, koje je IEC proglasio razinama protueksplozijske zaštite opreme [60079-0. Eksplozivna atmosfera, dio 0: OPĆI ZAHTJEVI] jesu;

- Kategorija 1, s oznakom 1G za plinove i 1D za prašine, namijenjena uporabi u zoni 0 za plinove i u zoni 20 za prašine
- Kategorija 2, s oznakom 2G za plinove i 2D za prašine, namijenjena uporabi u zoni 1 za plinove i u zoni 21 za prašine, i
- Kategorija 3, s oznakom 3G za plinove i 3D za prašine, namijenjena uporabi u zoni 2 za plinove i u zoni 22 za prašine

Označavanje kategorije prema EU, odnosno razine zaštite prema IEC, opravdano je namjerom da odluka o uporabi opreme bude nezavisna o klasifikaciji prostora odnosno procjeni rizika u odnosu na klasifikaciju [1].

[1], pored navedenih kategorija opreme, u okviru vrsta protueksplozijske zaštite, mogu postojati različite razine zaštite. Tako npr. U zaštiti samosigurnosti (EXi) označava se i kategorija samosigurnosti 'ia', 'ib' ili 'ic' koje čine razine vrste zaštite, koje zamjenjuju pojam kategorije [1].

Kategorizacija opreme prema EN i HRN označava se :1,2, ili 3, uz G ili D, ovisno dali se radi o plinovima ili prašinama i neovisno o vrsti zaštite.

Označavanje prema IEC je također s G ili D, ovisno dali se radi o plinovima ili prašinama, ali razine se označavaju s a, b ili c, te se upisuje iza Ex... oznake, na kraju, jer razine (a, b ili c) mogu biti vrste zaštite.

Prema ATEX-u 95, temeljni principi kategorizacije opreme je da razina zaštite opreme ima ugrađene prepreke uzročniku paljenja i to najmanje:

- Dvije za kategoriju 1, odnosno razinu 'a'
- Jednu za kategoriju 2, odnosno razinu 'b'
- Bez ugrađene prepreke za kategoriju 3, odnosno za razinu 'c' (ali bez paljenja u normalnim uvjetima rada)

Prepreka u odnosu na uzročnika paljenja ima elemente zaštite. Prepreku može eliminirati poremećaj ili kvar na elementima zaštite. Drugim riječima uz dva, jedan ili bez kvara ne smije doći do eksplozije. Razredbu prostora prema zonama opasnosti prikazuje tablica 5 [1].

Tablica 7. Razredba prostora u zone opasnosti.

Oznaka zone	LOKACIJA	OPREMA, DOPUŠTENA UPORABA
0	Prostor ugrožen trajnim ili vrlo učestalim izvorom ispuštanja, u kojemu eksplozivna atmosfera može biti prisutna duže vrijeme.	Oprema kategorija 1G, a to su 'Ex ia', 'Ex ma' ili kombinacija ostalih vrsta zaštite posebne izvedbe, posebno certificiranih za zonu 0, prema HRN IEC/EN 60079-26
1	Prostor ugrožen primarnim izvorom ispuštanja u kojemu se eksplozivna atmosfera ne može spriječiti tehnološkim procesom.	Oprema kategorije 2G i 1G. Sve vrste protueksplozijske zaštite prema: HRN IEC/EN 60079-0 razine zaštite 'b' ako je predviđeno više razina.
2	Prostor ugrožen sekundarnim izvorom opasnosti u kojemu se eksplozivna atmosfera može pojaviti samo u slučaju kvara i zadržava se kratko vrijeme.	Oprema kategorije 3G, 2G i 1G, izvedbe Exn koji u normalnom pogonu ne iskre, ili s ne palećim iskrenjem, s ograničenim zagrijavanjem, a da bi bili za to i certificirani moraju odgovarati normi HRN IEC/EN
20	Prostor ugrožen uzvitlanom prašinom (ili s dovoljno nataložene prašine da se može uzvitlati oblak prašine) koja je prisutna trajno, nastaje često ili dugo traje	Oprema kategorije 1D, oprema izvedbe Ex t IIIA-C Tmm, IP 65, ali i druge vrste zaštite razine 'a' ili kategorije 1D
21	Prostor ugrožen uzvitlanom prašinom uz potencijalnu opasnost od nataložene prašine koja se pojavljuje povremeno tehnološkim procesom, ali pod kontrolom	Uredaji kategorije 2D (i 1D) i oprema izvedbe Ex t IIIA-C Tmm, IP 65, ali i druge vrste zaštita razine 'b' il kategorije 2D.
22	Prostor bez uzvitlane prašine u normalnom pogonu s kontroliranom nataloženom prašinom, čija je vjerojatnost uzvitlavanja vrlo mala.	Oprema kategorije 3D (i 1D, 2D) i oprema izvedbe Ex t IIA-C Tmm, IP 65 (za vodljivu prašinu IIIC) IP54 (za ne vodljivu prašinu IIIB) ali i druge vrste zaštite razine 'c' ili kategorije 3D

1.3. KLASIFIKACIJA UGROŽENOG PROSTORA

Čimbenici prema kojim se klasificira ugroženi prostor jesu vrsta medija, plin/prašina, izvor ispuštanja te njegov kapacitet kao i provjetrenost prostora. Za određivanje tipa zone opasnosti bitan je, ali nije jedini čimbenik, izvor ispuštanja. Najveći utjecaj na veličinu zone ima provjetrenost prostora.

Uvijek se teži da ugroženi prostor bude što manji i da zona opasnosti bude što „blažeg“ stupnja. Teži se da imamo više zona 2 a manje zona 1, a posebno što manje zona 0.

1.3.1. PARAMETRI KLASIFIKACIJE

Temeljni parametri za klasifikaciju prostora su izvori ispuštanja i provjetrenost. [1] prema učestalosti i trajanju razlikujemo tri izvora ispuštanja:

- 1) **Trajni izvor (T)**- koji trajno, često ili dulje vrijeme unose i zadržavaju u prostoru zapaljive plinove ili pare zapaljivih tekućina. Primjeri takvih izvora su:
 - Površine hlapljenja/isparivanja zapaljivih tekućina,
 - Spremnici zapaljivih plinova i zapaljivih tekućina, njihovi otvori ili ventili koji su često otvoreni
 - Tehnološki spremnici s otvorima kroz koje plinovi ili pare izlaze trajno, često ili kroz dulje vrijeme
- 2) **Primarni izvor (P)**- koji povremeno kod normalnog rada sadrže ili ispuštaju zapaljivi medij u okolni prostor, a povremena prisutnost zapaljivog medija predviđena je tehnološkim procesom ili rukovanjem, ili očekivanim kvarom, ali ih nije moguće izbjeći primijenjenom tehnologijom. Primjeri takvih izvora su:
 - brtve crpki i kompresora pod tlakom
 - uređaji koji se povremeno otvaraju
 - ventili za uzorke koji su često u uporabi
 - sigurnosni ventili izvan zatvorenog sistema
 - bušotine za plin i naftu
 - čišćenja zapaljivim tekućinama
 - prostori za lakiranje i sušenje
 - pretakanje zapaljivih tekućina

3) **Sekundarni izvori (S)**- koji samo pod nenormalnim okolnostima, u slučaju kvara ili poremećaja tehnološkog procesa, ispuštaju zapaljive plinove ili pare zapaljivih tekućina u okolni prostor, ali vrlo rijetko i kratko traju. Primjeri takvih izvora su:

- Prirubnice, spojna mjesta, brtve (izuzev zavarenih spojeva)
- Kontrolni otvori (nivokazna stakla)
- Ventili kojima se često ne rukuje
- Sigurnosni i regulacijski ventili u zatvorenom sustavu postrojenja
- Mjesta uzimanja uzoraka ili ispusni ventil
- Kompresori i crpke u zatvorenom sustavu s posebno kvalitetnim sustavom brtvljenja

S obzirom na provjetravanje prostora, ventilaciju- razlikujemo četiri karakteristična slučaja [1]:

1) **Nedovoljno ventilirani prostori** u kojemu postoje prepreke za prirodno strujanje zraka ili se radi o zatvorenom prostoru (broj obujamnih izmjena $\omega \leq 2/h$). Primjeri takvih prostora su:

- Zatvorena kućišta opreme s više od IP 44
- Zatvorene prostorije s brtvljenim vratima i prozorima (bez ljudi)
- Neventilirani bunari, kanali i udubljenja (podrumski prostori) za plinove i pare teže od zraka
- Spremnici
- Neventilirana potkrovlja (za plinove lakše od zraka)

2) **Prirodno ventilirani prostori** u kojima nema prepreka za prirodno strujanje zraka kojim se smanjuje koncentracija plinova i para u prostoru. Primjeri takvih prostora su:

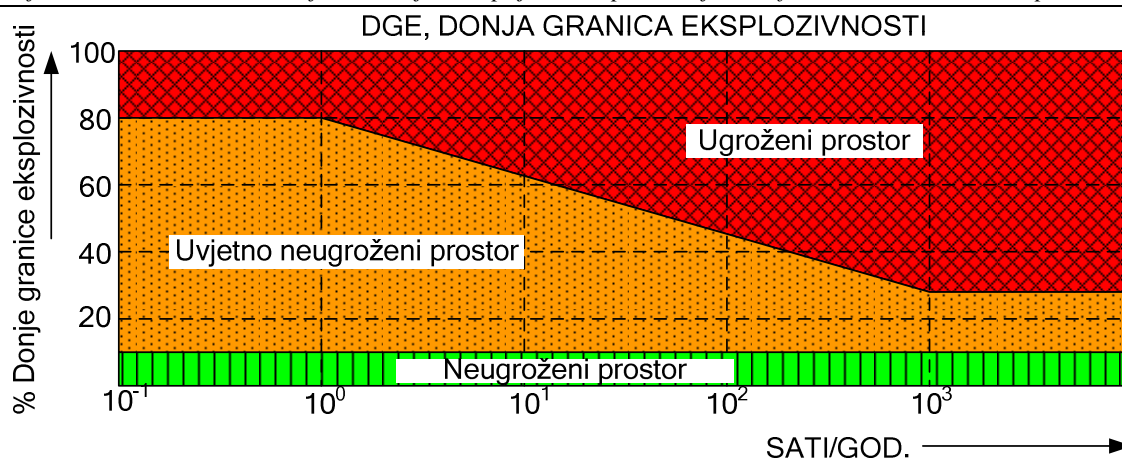
- Nezatvoreni ili poluotvoreni prostor, nadstrešnice (broj obujamnih izmjena $\omega \geq 12/h$)
- Ograđeni prostor s otvorima za prirodnu ventilaciju u dvije razine (s izvorima topline u prostorima kao to su motori, rasvjeta i sl), (broj obujamnih izmjena $\omega \geq 5/h$)
- Sva kućišta opreme mehaničke zaštite manje od IP 22

- 3) **Prisilno ventilirani prostori** kojima se dovodi dodatna količina čistog zraka ili se odsisava zrak iz prostorije, uz uvjet da ne dolazi do mrtvih zona, tj. neprovjetravnih dijelova prostora. Ovakva ventilacija se smatra zadovoljavajućom ako onemogućava ili umanjuje mogućnost formiranja eksplozivne atmosfere. Primjeri takvih prostora su:
- Zatvorene prostorije ili kućišta uređaja s prisilnom ventilacijom pomoću ventilatora (broj obujamnih izmjena $\omega \geq 12/h$)
 - Zatvoreni uređaji s ventilacijom zbog odvođenja topline gubitaka.
- 4) **Otvoreni prostori** gdje nema prepreke za prirodnu ventilaciju, tj. za prirodnu izmjenu zraka s atmosferom. Primjeri takvih prostora su:
- Nenatkriveni i neograđeni prostor
 - Natkriveni otvoreni prostor za plinove teže od zraka
 - Ograđeni nenatkriveni prostor za plinove znatno lakše od zraka (vodik) [1]

Svaki prostor u kojemu postoji mogućnost pojave eksplozivne atmosfere iznad 10% donje granice eksplozivnosti (DGE) treba smatrati ugroženim. Unatoč toj definiciji, analizama izvora ispuštanja i provjetrenosti, ventilacije prostora možemo definirati neugroženi prostor (NP).

Neugroženi prostor (NP) je onaj prostor za kojeg se može, temeljem mogućih obujamnih odnosa, pouzdano utvrditi da koncentracija eksplozivne atmosfere ni u kom slučaju ne može prijeći vrijednost od 10% DGE (za metan 0,5 % vol).

Granična koncentracija normalno ne smije biti veća od 25% DGE za zonu 1, odnosno 50% za zonu 2. Koncentracije ograničeno vrijeme mogu biti i veće ukoliko se koncentracija zapaljivog plina pouzdano kontrolira tehnologijom rada, tako da ne može doseći DGE, odnosno više od 80% DGE-a. Navedene kriterije ugroženog prostora prikazuje slika 13[1].



Slika 13. Kriterij ugroženog i neugroženog prostora.

Kriteriji za određivanje zona ugroženog prostora u odnosu na izvore ispuštanja prikazuje tablica 8.

Oznake zona prikazani razlomkom znače mogućnost pojavljivanja obiju zona, uz pretežnu podjelu na zonu označenu u brojniku. Npr. 1/2- u pravilu predstavlja zonu 1, ali postoji mogućnost i da bude zona 2, ili u kombinaciji- dio prostora je zona 1, a ostatak prostora čini zona 2 u čijem je okolišu NP (1/2 NP).

Tablica 8. Zone ugroženog prostora u odnosu na izvore ispuštanja.

Izvor ispuštanja	Prostor u odnosu na ventilaciju			
	Zatvoreni	Prirodno ventilirani	Prisilno ventilirani	Otvoreni
Trajni	0	0/1	1/2/NP	0/1/2
Primarni	0/1	1	2/NP	1/2
Sekundarni	0/1/2	2	2/NP	2

Izvori ispuštanja uzrokuju zone:

ZONA 0:

- Trajni izvor ispuštanja
- Primarni izvor ispuštanja u zatvorenom prostoru

ZONA 1:

- Trajni izvor ispuštanja u okolini zone 0,
- Primarni izvor ispuštanja

- Sekundarni izvor ispuštanja ako nastala eksplozivna smjesa ostaje dulje vrijeme

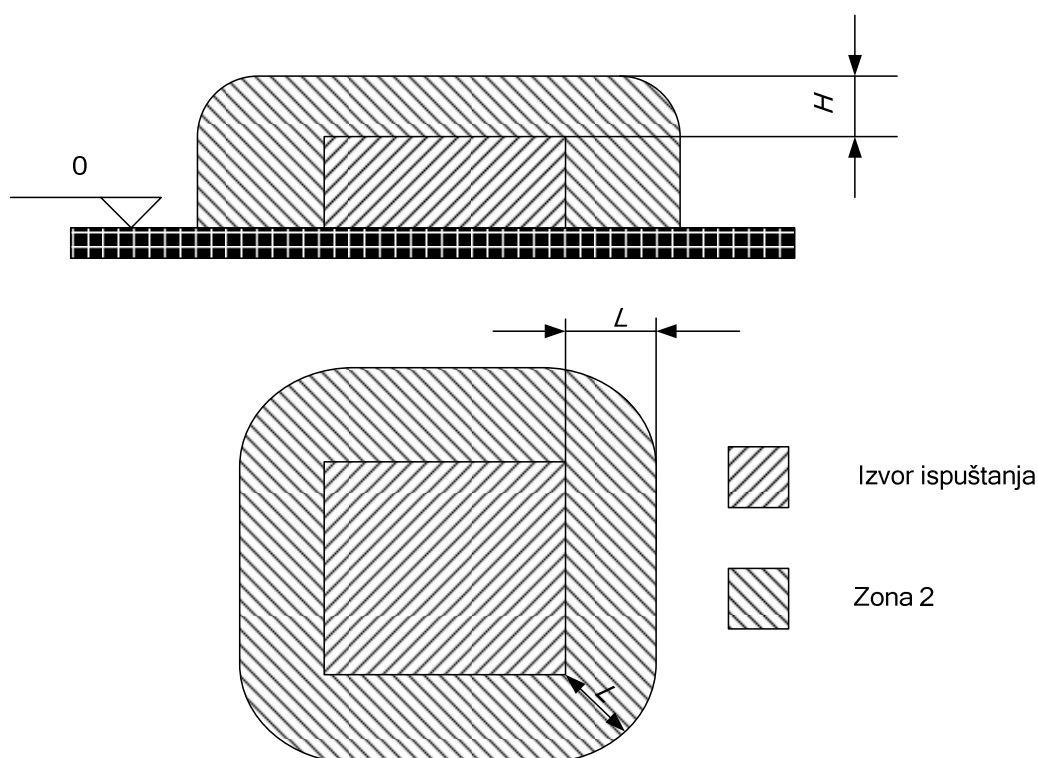
ZONA 2:

- Zone 1 (ili 0) ako se uslijed kvara ili promjene uvjeta
- Ventilacije mogu proširiti na okolno prostor
- Sekundarni izvor ispuštanja (kvar u postrojenju)

1.3.2. RASPROSTIRANJE ZONA UGROŽENOG PROSTORA

Određivanje prostora ugroženog eksplozivnom atmosferom većinom je eksperimentalne prirode koje se temelji na inženjerskoj praksi, isto tako, procjenu ugroženog prostora možemo provesti termodinamičkim proračunima uz računske provjere potrebne ventilacije.

Na slici 14 prikazan je primjer određivanja prostora ugroženog eksplozivnog atmosferom. Zone ugroženog prostora crtaju se u dvije projekcije, nacrt i tlocrt. U tlocrtu, udaljenost prostora od izvora ispuštanja označavamo s l , dok u presjeku- nacrtu, visinu od izvora ispuštanja označavamo s h . Za zonu 1 koristimo mala slova, l i h , dok za zonu 2 koristimo velika slova, L i H .



Slika 14. Prostorno određivanje zona ugroženog prostora.

Izvorom opasnosti smatra se sva oprema, ili dio opreme ili dio prostora višeg stupnja opasnosti. Tako, izvor ispuštanja zone 2 može biti dio zone 1 (ili 0), ako se uslijed kvara eksplozivna atmosfera može proširiti izvan prostora zone ili ako se očekuje u određenim trenutcima (rijetko) slabija ventilacija npr. ukoliko je prostor na otvorenom, može nastupiti tišina bez vjetra, što je čest slučaj.

Prema ustaljenoj inženjerskoj praksi, uobičajena udaljenost rasprostiranja pojedine zone krećući od izvora ispuštanja jesu, prema slici 2:

U tlocrtu $l \geq 3$ do 5 m

Po visini $h \geq 1,5$ do 3 m

Uobičajeno širenje zone kroz otvore je u polumjeru:

$r \geq 1,5 - 3$ m

Navedene vrijednosti ovise o izvoru ispuštanja, te u ovom slučaju odgovaraju izvoru prosječnog kapaciteta, reda veličine $\leq 0,1$ kg/s, uz lagano strujanje zraka od 0,5 m/s.

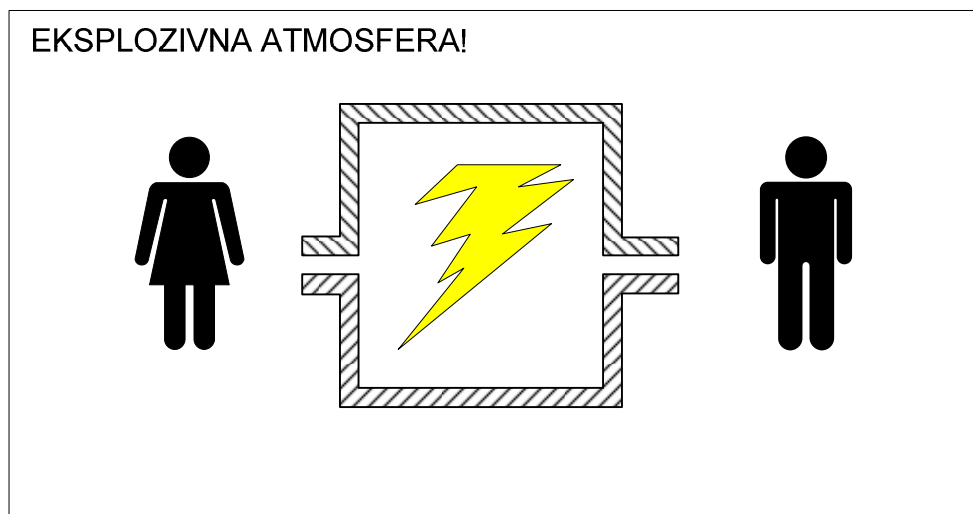
1.4. PROTUEKSPLOZIJSKA ZAŠTITA OKLAPANJEM 'd'

[1] Temeljni koncept zaštite neelektrične i električne opreme sustavom oklapanja 'd' sastoji se u ograničavanju učinaka eksplozije kućištem koje mora:

- Izdržati unutarnji tlak eksplozije bez oštećenja i trajnih deformacija
- Spriječiti probojno paljenje okolne eksplozivne atmosfere

[2] Za jedan i drugi koncept, potrebno je konstrukcijom i ispitivanjem osigurati potreban koeficijent sigurnosti koji ne smije biti manji od 1,5. Koeficijent sigurnosti na unutarnji tlak eksplozije primjenjuje se na odnos ispitnog tlaka i najvećeg očekivanog tlaka izrađenog kućišta, s tim da ispitni tlak ne smije izazvati plastične deformacije kućišta. Koeficijent sigurnosti na probojno paljenje se fizikalno može primijeniti samo na razmake raspora, a ne na duljinu staze plamena eksplozije. Dopušteni su razmaci koji su 1,5 puta manji od graničnih raspora koji još priječe probojno paljenje, što znači da se ispitivanje provodi s uvećanim rasporima u odnosu na izvedene konstrukcijske raspore, ili je potrebno raditi ispitivanja s smjesama koje propaljuju kod 1,5 puta manjim rasporima.

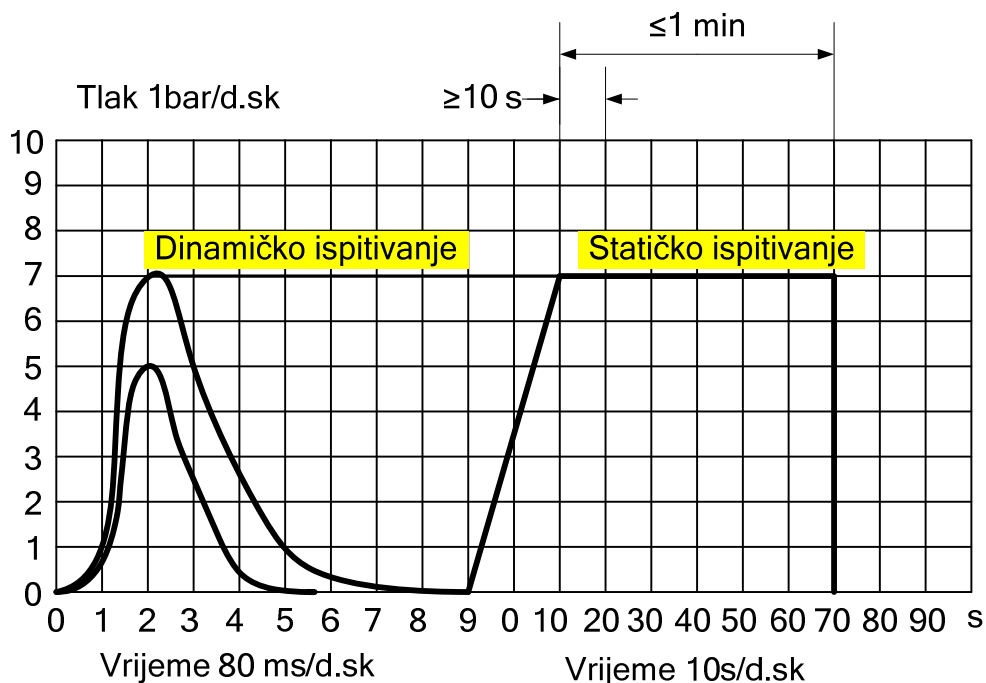
Osim navedenih principa protueksplozijske zaštite oklapanjem 'd', uređaj ili sustav koji se oklapa, unutar pogonskih uvjeta ne smije biti uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere bilo zagrijavanjem kućišta ili dijelova uređaja. Shematski prikaz zaštite oklapanjem 'd' prikazan je na slici 15 [2].



Slika 15. Ilustracija zaštite oklapanjem 'd'

Prema slici 15, vidi se da je primarna zaštita oklapanjem 'd' spriječiti širenje eksplozije na okolnu eksplozivnu atmosferu. Postupak ispitivanja kućišta na unutarnji tlak eksplozije je takav da se izazove eksplozija, zatim se izmjeri referentni tlak eksplozije, a nakon toga se kućište podvrgne 1,5 puta većem tlaku. Uvjeti postizanja tlaka prikazani su na slici 16 [1],

pritom je važno ispitnom tlaku održati približno jednaku brzinu porasta tlaka, a krivulja ispitnog tlaka mora prekrivati krivulju referentnog tlaka eksplozije.



Slika 16. Tlakovi eksplozija i provjera čvrstoće kućišta.

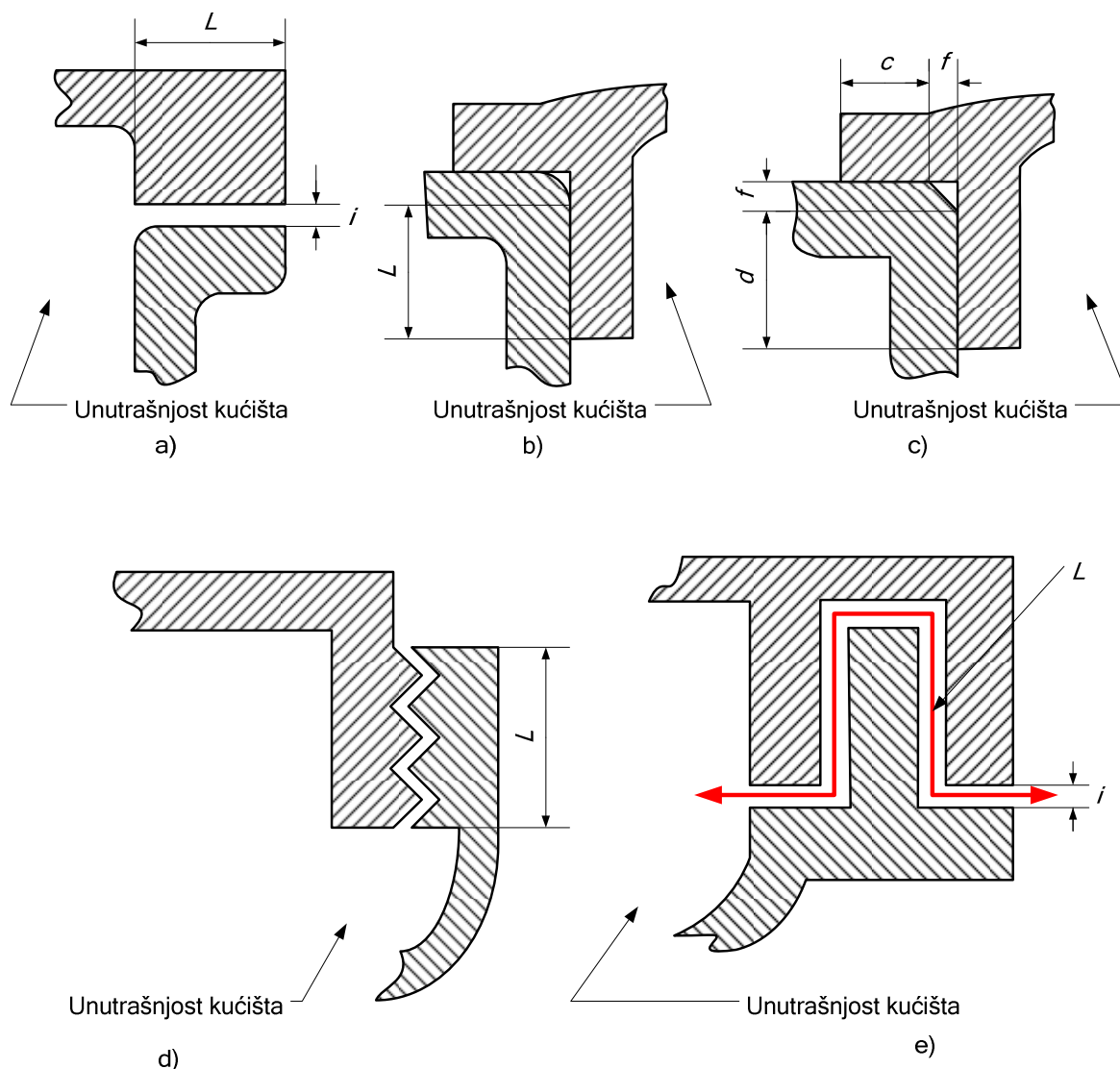
Osim dinamičkim tlakom, ispitivanje kućišta može se obaviti i statičkim ispitivanjem. Ispitivanje se provodi tako da se kućište podvrgne tlaku tekućine npr. vode, koji je 1,5 puta veći od referentnog tlaka u trajanju od najmanje 10 sekundi.

Ukoliko se ispitivanje radi statičkim tlakom na način da je ispitni tlak 4 puta veći od referentnog tlaka eksplozije, u tom slučaju nije potrebno ispitivati svako kućište posebno. Ova metoda je idealna za lijevana kućišta, dok kod zavarenih kućišta nije moguće garantirati kvalitetu zavora pa je potrebno vršiti pojedinačna ispitivanja.

Zaštita oklapanjem 'd' temelji se na sastavnim rasporama čija je glavna funkcija oblikovanje plamena eksplozije koji iz unutrašnjosti kućišta izbija u okolnu eksplozivnu atmosferu. Funkcija raspora je da smanji energiju plamena tako da plamen koji iziđe iz kućišta nema dovoljnu energiju koja bi inicijalno zapalila okolnu eksplozivnu atmosferu. Prema vrstama raspora razlikujemo 5 osnovnih vrsta, slika 17[1].

Temeljne značajke svakog zaštitnog sastava su:

- Raspor, razmak između površina sastava i u mm, koji utječe na gušenje nastajanja eksplozije u samom rasporu, a i na ukupnu energiju plamena izvan raspora/odnosno uzročnika probojnog paljenja, i
- Širina sastava L utječe na oblik plamena izvan raspora, a time i na toplinu po površini uzročnika paljenja te na njegovu sposobnost inicijalnog paljenja probojnim paljenjem iz kućišta.



Slika 17. Temeljni zaštitni sastavi (raspori) oklapanja kućištem; a) ravni; b) cilindrični; c) sastavljeni; d) vijčani; e) labirintni

1.4.1. SASTAVNI RASPORI

Ravni raspori- u pravilu mogu biti namjerni ili ne namjerni s tim da se ne namjerni smatraju kada su obje površine pritegnute s vijcima ili na drugi način s namjerom da razmak bude što manji i kod dobre obrade je u pravilu manji od 0,04 mm. Ne namjerni ravni raspori se do određenog obujma mogu primjenjivati za sve skupine plinova osim za acetilen (skupina IIC) jer acetilen izgaranjem čađi može prenijeti probojno paljenje u okolni prostor. Ako se unutar ravnog raspora nalaze vijci za pričvršćenje onda raspor do rupe ne smije bit manji od; 6, 8 ili 9 mm, ovisno o ukupnoj širini raspora (Tablica 9; Slika 18). Najmanje vrijednosti širine raspora L i najveći raspori i dani su u tablici 10.

Cilindrični raspori- se u pravilu koriste za zatvaranje okruglih otvora kućišta, ili za osiguranje od probojnog paljenja rotirajućih osovina ili poluga. U svakom slučaju kod ovih raspora za razmak površina raspora uzimamo razliku promjera otvora i trna kao razmak raspora- i . U slučaju zatvaranja okruglih otvora je razlika promjera, odnosno razmak i - vrlo mali pogotovo ako se radi o čvrstom dosjedu, u tom slučaju raspor možemo smatrati ne namjernim.

Međutim, ako raspor služi za rotirajuće dijelove, poluge, vretena ili osovine onda su to cilindrični raspori i njihove vrijednosti konstrukcijski treba odrediti prema tablici 10 i prema zahtjevima u tablici 9.

Cilindrični raspori su uglavnom raspori čije plohe imaju oblik valjka, ali mogu imati i oblik krnjeg stošca, pa možemo za njih kazati da su konični ali su po svojim svojstvima jednaki cilindričnim rasporima, jedina razlika je nagib, blagi konus koji za skupinu plinova IIC ne smije bit veći od 5° .

Vijčani raspori- osiguravaju svojstva zaštite ako je plamenu unutarne eksplozije suprotstavljeno najmanje 5 koraka navoja određene kvalitete i ako je osigurana najmanja aksijalan duljina nareza, od 5 mm, odnosno 8 mm, za obujme manje od 100 cm^3 , odnosno veće od 100 cm^3 . Osim vijčanog, ovi zahtjevi vrijede i za lomljeni (cilindrični, uglavljeni) raspor s profilom standardnog nareza. Zahtjevi na vijčane raspore (sastave) prikazani su u tablici 12.

Labirintni raspor- predstavlja poseban problem. Zbroj pojedinačnih širina i najveći razmak površina mora odgovarati vrijednostima u tablici 10. Kod ovih raspora važno je da se izvedbom ne formiraju komorice koje mogu utjecati na transfer probojnog paljenja.

Raspor sa zalijepljenim površinama- odnosno raspor ispunjen stvrdnjavajućom masom ili, praktično rečeno, mjesta bez zračnih raspora moraju priliježati u potpunosti na širini od najmanje 3, 6, odnosno 10 mm, ovisno o obujmu $\leq 10 \text{ cm}^3$, $> 10 \text{ cm}^3 \leq 100 \text{ cm}^3$ i $> 100 \text{ cm}^3$. Razlog gore citiranih širina je u tome što nije moguće garantirati da s vremenom neće doći do odljepljivanja jedne od površina i formiranja raspora, posebno kod cilindričnih oblika kada se stezanjem mase mogu odlijepiti [2].

Navedeni zaštitni raspori, slika 17, podliježu konstrukcijskim zahtjevima koje propisuje norma HRN IEC/EN 60079-1 i 60079-0. Svi raspori moraju imati strojno obrađene spojne površine na način da srednja visina neravnina R_a ne smije biti veća od $6,3 \mu\text{m}$. Isto tako, za sve vrste raspora, ovisno o mjestu upotrebe, postoje točno definirane maksimalne veličine raspora- i uz najmanje dopuštene širine raspora L (Tablica 10). Svi konstrukcijski zahtjevi koji se postavljaju na zaštitne sastave dani su u tablici 9.

Granice u tablici 10, utvrđene su za pojedine skupine plinova i para u ovisnosti o obujmu kućišta na način da se osigura koeficijent sigurnosti probojnog paljenja od 1,5 do 2.

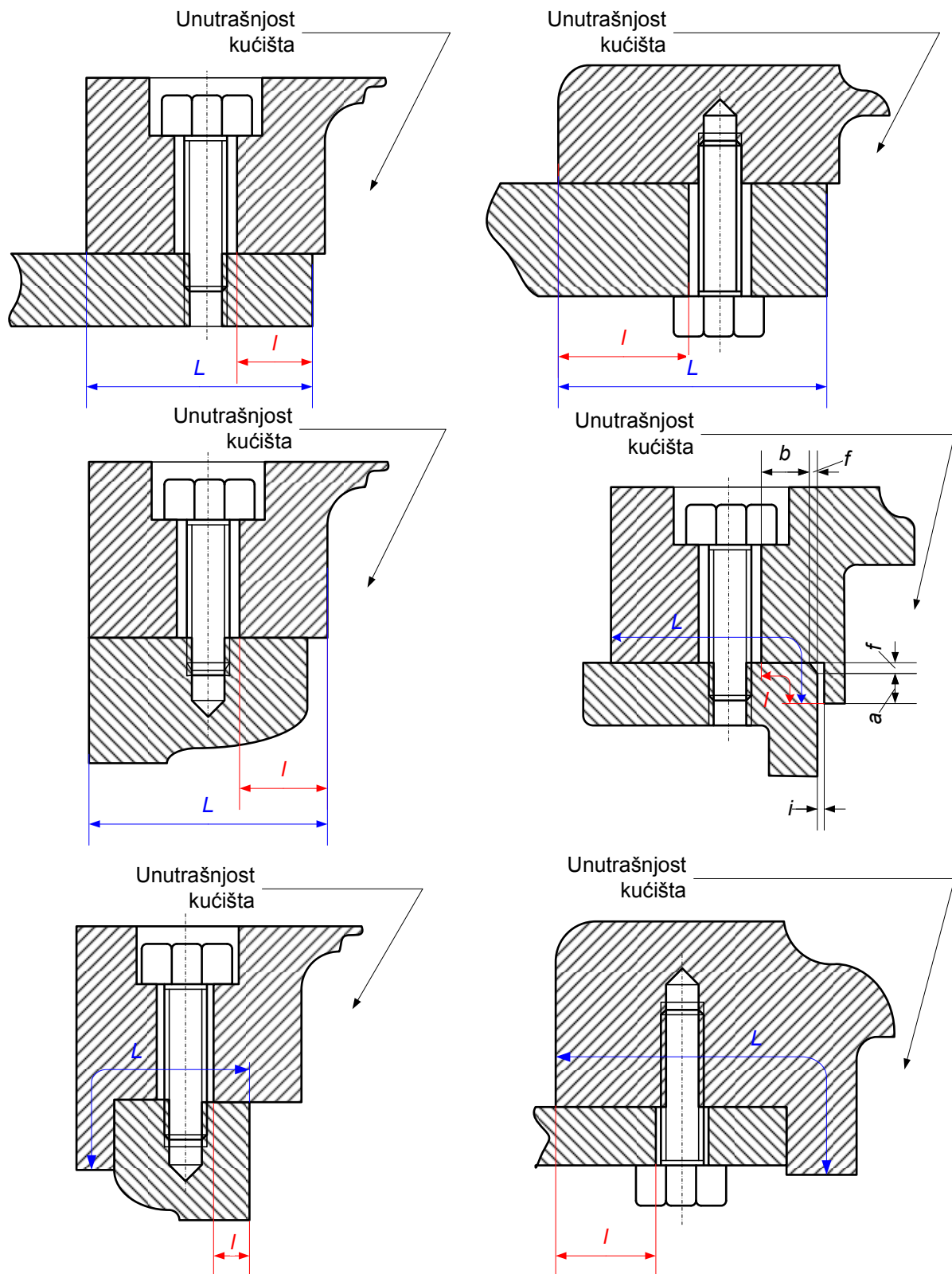
Tablica 9. Prikaz konstrukcijskih zahtjeva na zaštitne sastave prema IEC smjernicama. [1]

KONSTRUKCIJSKI ZAHTJEVI NA ZAŠTITNE SASTAVE	
1	<p>OPĆI ZAHTJEVI</p> <p>Zaštitni sastavi trajno sastavljeni ili izrađeni za povremeno otvaranje, moraju odgovarati zahtjevima navedenim u ovoj tablici. Moraju biti tako izvedeni da bez unutarnjeg tlaka odolijevaju mehaničkim naprezanjima kojima su namijenjeni. Dimenzije navedene u ovoj tablici daju najmanje i najveće vrijednosti koje se mogu primijeniti na temeljne parametre staza plamena. U slučajevima kada dimenzije zaštitnog sastava nisu unutar navedenih vrijednosti (npr. zbog udovoljavanja ispitivanju na probojno paljenje), oprema mora biti označena znakom 'X' prema HRN IEC/EN 60079-0, a specifični uvjeti uporabe na certifikatu moraju biti sukladni sljedećem:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) Dimenzije zaštitnih sastava moraju biti detaljno navedeni, ili b) Specificiran nacrt gdje su te dimenzije određene, ili c) Posebne upute moraju ukazati na mogućnost kontaktiranja izvornog proizvođača za dobivanje stvarnih dimenzija zaštitnih sastava. <ul style="list-style-type: none"> • Površine sastava mogu biti zaštićene od korozije. • Premazivanje bojom ili plastificiranje površina nije dopušteno. • Druge zaštite se mogu primjenjivati ako primijenjeni materijal i postupak ne utječu na svojstva zaštitnih sastava. • Anti-korozijska mast može biti primijenjena prije sklapanja. Primijenjena mast ne smije stvrdnjavati starenjem, ne smije sadržavati isparavajuće razrjeđivače i ne smije izazivati koroziju na površinama sastava. Provjera prikladnosti mora biti u skladu s specifikacijama proizvođača masti. Površina sastava može biti prekrivena galvanizacijom s tim da nanese sloj nije deblji od 0,008 mm.

2	ZAŠTITNI SASTAVI BEZ NAREZA	
2.1	ŠIRINA SASTAVA (L)	
	Ne smije biti manja od vrijednosti: Najmanja širina metalnog sastava za čvrsto utisnute cilindrične sastave, ako zadovolji ispitivanju na udar, prema HRN IEC/EN 60079-0 uz najnepovoljnije uvjete, kao i ako ne dođe do pomaka kod tipnih ispitivanja (prema [1], tablica 9-6, tč.15. Smjernice konstrukcijskih zahtjeva prema HRN IEC/EN 60079-1)	Tablica 10 i Tablica 11. Kućišta $V \leq 2000 \text{ cm}^3$ Vanjskog promjera sastava $\leq 60 \text{ mm}$, L može biti umanjen na 5 mm.
2.2	RASPORI (i)	
	Ne smiju biti veći od vrijednosti:	Tablica 10 i Tablica 11
	Obrada površine sastava	$R_a \leq 6,3 \mu\text{m}$ (ISO 468)
	Za prirubne ravne raspore ne smije biti namjernih raspora sastava osim kod izvedbi za brzo otvaranje. Za skupine I mora bit moguće neposredno ili posredno mjerenje ravnih raspora za poklopce ili vrata koji se povremeno otvaraju. Slika 19 prikazuje primjer izvedbe za indirektno mjerenje zaštitnog raspora.	
2.3	SASTAVLJENI (RAVNO/CILINDRIČNI) SASTAVI	
	Mogu biti izvedeni tako da im se računa širina sastava: <ul style="list-style-type: none"> • Samo cilindrični dio (Slika 17b) • Ravni i cilindrični dio (Slika 17c) 	$L \geq$ prema tablicama 10 i 11. $L = c + d$, za I, IIA, IIB, IIC, $L = c \geq 6,0 \text{ mm}$, za IIC. $L = c \geq 3 \text{ mm}$, za I, IIA i IIB $d \geq 0,5 L$, za IIC $f \leq 1,0 \text{ mm}$, za I, IIA, IIB, IIC

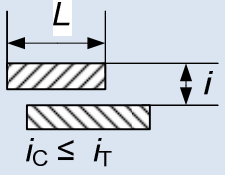
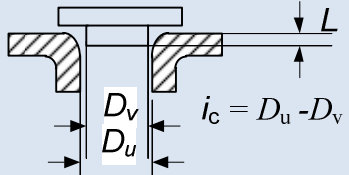
2.4	RUPE U SASTAVU ZA VIJKE	
	Udaljenost se mjeri prema 2.4.1 do 2.4.4	$l \geq 6$ mm, za $L < 12,5$ mm $l \geq 8$ mm, za $L \geq 12,5 < 25$ mm $l \geq 9$ mm za $L \geq 25$ mm
	<i>Zahtjevi zračnosti između vijaka i rupe navedene su u HRN IEC/EN 60079-0.</i>	
2.4.1	<u>Ravni raspori s rupama izvan kućišta:</u> Slike (18 a i c).	l između rupa i unutarnjeg ruba kućišta.
2.4.2	<u>Ravni raspor s rupama unutar kućišta:</u> Slika 18b.	l između rupa i vanjskog ruba kućišta.
2.4.3	<u>Usadni sastav s ravnim i cilindričnim sastavom,</u> (Slika 18d) $L = a + b$ (a- ravni, b- cilindrični) ako je: $f \leq 1$ mm i raspor:	$(D - d) \leq 0,2$ mm, za IIA, $(D - d) \leq 0,15$ mm, za IIB, $(D - d) \leq 0,1$ mm, za IIC,
	Ili ako nije zadovoljeno kao gore samo ravni dio $l = b$	
2.4.4	<u>Cilindrični (usadni) sastav,</u> Slike (18e i f) gdje je centrični dio <ul style="list-style-type: none"> • Prema vani Slika 18e • Prema unutra Slika 18f 	$L =$ samo ravni dio <ul style="list-style-type: none"> • Od unutarnjeg ruba do rupe, rupa izvan kućišta, Slika 18e • Od vanjskog ruba do rupe, rupa unutar kućišta, Slika 18f
2.5	KONIČNI SASTAV (cilindrični): Jednolik konus prema tablicama 10 i 11.	IIC: kut $\leq 5^{\circ}$ (kut je između osi konusa i površine konusa)
2.6	SASTAV NA DJELOMIČNO CILINDRIČNOJ POVRŠINI Slika 20 bez namjernog raspora (učvršćenje vijcima):	Nije za IIC Širina; tablica 10. UVJET: promjeri jednaki.

2.7	Dodatni zahtjevi za acetilen skupini IIC: Ravni sastavi su dopušteni za acetilen ako je:	a) Raspor $i \leq 0,04$ mm, b) Širina $L \geq 9,5$ mm, c) Obujam $V \leq 500$ cm ³ .
2.8	ZUPČASTI SASTAV Ne moraju imati sastave prema tablicama 10 i 11, ali mora biti:	a) Pet punih uglavljenih zuba (koraka) b) Korak zuba $\geq 1,25$ mm c) Kut zuba (kao narez) 60^0 ($\pm 5^0$).
	Ne smiju se upotrebljavati na pokretnim dijelovima. Moraju zadovoljiti zahtjeve probojnog paljenja. (Prema [1], tablica 9-6, tč.15.2. Smjernice konstrukcijskih zahtjeva prema HRN IEC/EN 60079-1).	
3	VIJČANI SASTAVI (RAVNI I KONIČNI)	Tablica 12.
4	LJEPLJENI (CEMENTIRANI) SASTAVI	
4.1	OPĆENITO: Dijelovi mogu biti ulijepljeni neposredno u integralni dio kućišta ili u odvojivom sklopu, čije odvajanje ne oštećuje ljepilo (cement). Ako sastav bez ljepila ne zadovoljava konstrukcijskim zahtjevima zaštitnih sastava, podvrgava se ispitivanju toplinske postojanosti na toplo i hladno prema HRN IEC/EN 60079-0, starenju (4 tjedna na toplo + 1 dan na hladno).	
4.2	MEHANIČKA ČVRSTOĆA Čvrstoća kućišta ne smije ovisiti samo o lijepljenju cementiranjem te ga eksplozija ne smije razdvajati. Cementirani sastav mora zadovoljiti ispitivanje prema 15.3 (nepropusnost) uz odgovarajuće vrijeme i predtlak određeno prema 15.1.3 (ispitivanje povećanim tlakom). (Prema [1], tablica 9-6, tč.15.3. i tč. 15.1.3. Smjernice konstrukcijskih zahtjeva prema HRN IEC/EN 60079-1)	
4.3	ŠIRINA LJEPLJENOG SASTAVA Najkraća staza unutar/van kućišta kroz lijepljeni/cementirani dio mora biti: ≥ 3 mm, za $V \leq 10$ cm ³ ≥ 6 mm, za 10 cm ³ $\leq V \leq 100$ cm ³ ≥ 10 mm, za $V > 100$ cm ³	



Slika 18. Udaljenosti l u zaštitnom sastavu (L - širina raspora, l - udaljenost od rupe)

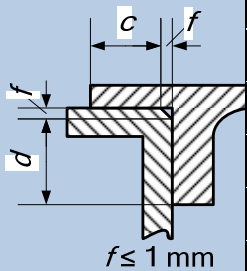
Tablica 10. Najmanje širine i najveći raspori sastava za skupine I, IIA i IIB

Vrste sastava		Najmanja širina sastava	Najveći dopušteni raspor mm za obujme cm ³													
			V ≤ 100			100 ≤ V ≤ 500			500 ≤ V ≤ 2000			V > 2000				
			I	IIA	IIB	I	IIA	IIB	I	IIA	IIB	I	IIA	IIB		
RAVNI I CILINDRIČNI ILI SASTAVLJENI		6	0,3	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		9,5	0,35	0,3	0,2	0,35	0,3	0,2	0,08	0,08	0,08	-	-	-		
		12,5	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	0,15		
		25	0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,2	0,5	0,4	0,2		
ROTIRAJUĆE OSOVINE		Klizni ležajevi		6	0,3	0,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-		
				9,5	0,35	0,3	0,2	0,35	0,3	0,2	-	-	-	-		
				12,5	0,4	0,35	0,25	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,2	
				25	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4	0,25	0,5	0,4	0,25	0,5	0,4	0,2
				40	0,6	0,5	0,4	0,6	0,5	0,3	0,6	0,5	0,3	0,6	0,6	0,25
		Kotrljajući ležajevi		6	0,45	0,45	0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	
				9,5	0,5	0,45	0,35	0,5	0,4	0,25	-	-	-	-	-	
				12,5	0,6	0,5	0,4	0,6	0,45	0,3	0,6	0,45	0,3	0,6	0,3	0,2
				25	0,75	0,6	0,45	0,75	0,6	0,4	0,75	0,6	0,4	0,75	0,6	0,3
				40	0,8	0,75	0,6	0,8	0,75	0,45	0,8	0,7	0,45	0,8	0,75	0,4
RAVNI RASPOR				CILINDRIČNI RASPOR												

i_c - najveći dopušteni raspor ravnog i cilindričnog sastava prema dokumentaciji i prema tablici 10.

Napomena: Izvedene vrijednosti zaokružene prema ISO 31-0 trebaju biti uzete pri određivanju najvećeg raspora

Tablica 11. Najmanje širine i najveći raspori za skupinu IIC

Vrste sastava	Najmanja širina sastava L	Najveći dopušteni raspor i_T (min) za obujme cm^3			
		$V \leq 100$	$100 \leq V \leq 500$	$500 \leq V \leq 2000$	$V > 2000$
RAVNI SASTAV ^(a) CILINDRIČNI SASTAV	6	0,1	-	-	-
	9,5	0,1	0,1	-	-
	15,8	0,1	0,1	0,04	-
	25	0,1	0,1	0,04	0,4
CENTRIČNI SASTAVLJENI $c \geq 6 \text{ mm}$, $d = 0,5L$ $L = c + d$  $f \leq 1 \text{ mm}$	12,5	0,15	0,15	0,15	-
	25	0,18 ^(b)	0,18 ^(b)	0,18 ^(b)	0,18 ^(b)
	40	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)
CILINDRIČNI USADNI SASTAVI	6	0,1	-	-	-
	9,5	0,1	0,1	-	-
	12,5	0,15	0,15	0,15	-
	25	0,15	0,15	0,15	0,15
	40	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)	0,20 ^(c)
ROTIRAJUĆE OSOVINE SAMOKOTRLJAJ NI LEŽAJEVI	6	0,15	-	-	-
	9,5	0,15	0,15	-	-
	12,5	0,25	0,25	0,25	-
	25	0,25	0,25	0,25	0,25
	40	0,30	0,30	0,30	0,30

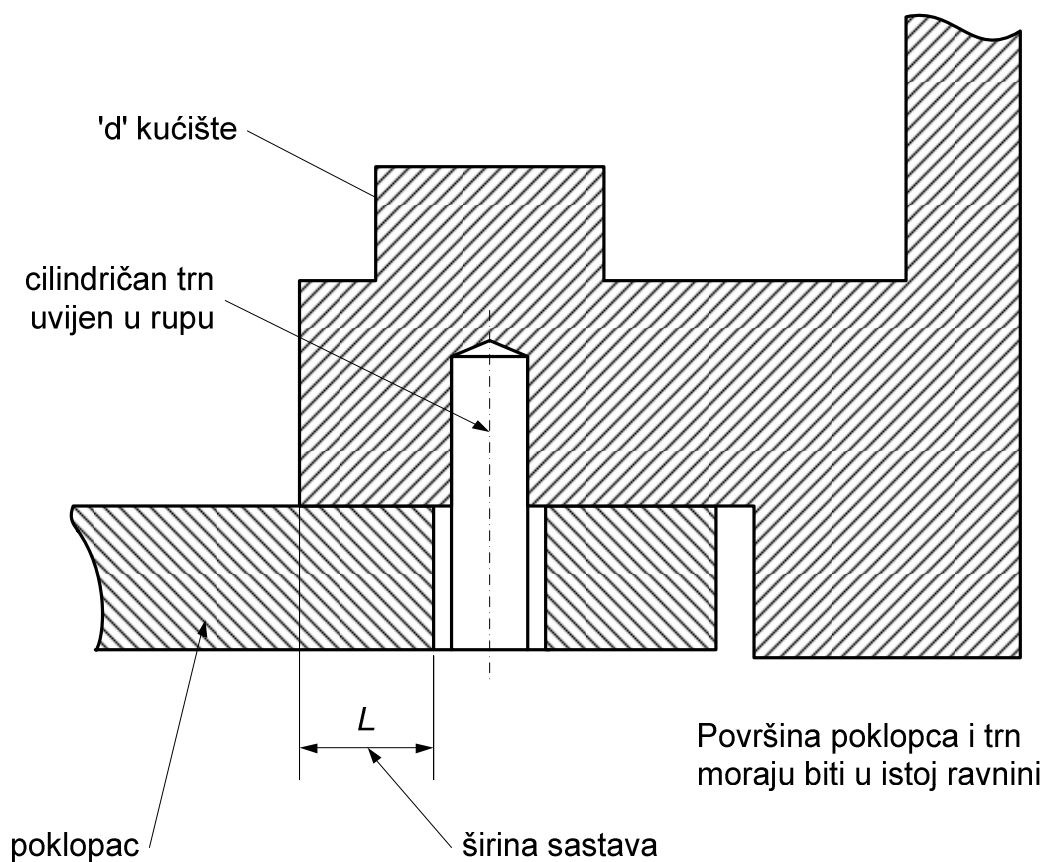
(a) – ravni sastavi su dopušteni za acilen sukladno 2.7, Tablica 9.
(b) – cilindrični dio se dopušta do 0,2 mm ako je $f \leq 0,5 \text{ mm}$
(c) – cilindrični dio se dopušta do 0,25 mm ako je $f < 0,5 \text{ mm}$
Pri određivanju dopuštenog raspora izvedbena vrijednost se zaokružuje sukladno ISO 31-0

Tablica 12. Vijčani zaštitni sastavi.

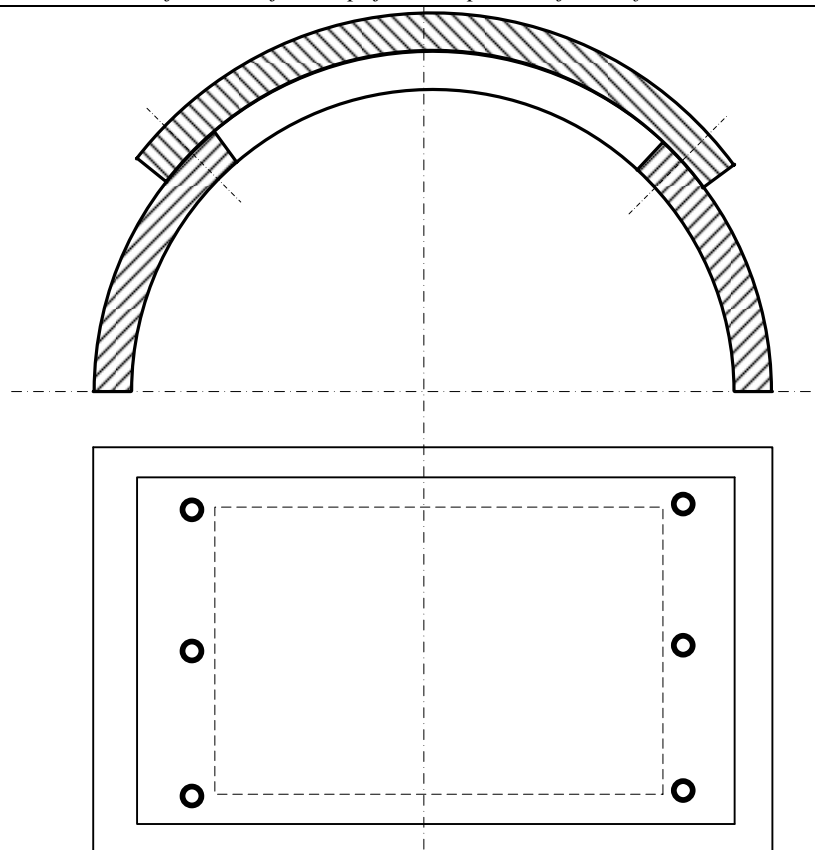
NAZIV	ZAHITJEVI NA NAREZ VIJČANOG SASTAVA
Korak nareza h	$\geq 0,7 \text{ mm}^{(a)}$
Oblik i kvaliteta nareza	Srednja kvaliteta tolerancije prema ISO 965-1 i ISO 965-3 ^(b)
Broj uglavljenih koraka	≥ 5
Dubina uglavljenja	
Obujam kućišta $\leq 100 \text{ cm}^3$	$\geq 5 \text{ mm}$
Obujam kućišta $> 100 \text{ cm}^3$	$\geq 8 \text{ mm}$
<p>(a) za korak nareza $> 2 \text{ mm}$, može biti potrebna posebna pažnja u izradi (npr. više uglavljenih nareza). Kako bi se osiguralo pozitivno ispitivanje probojnog paljenja. (Prema [1], tablica 9-6, tč.15.2. Smjernice konstrukcijskih zahtjeva prema HRN IEC/EN 60079-1)</p> <p>(b) Vijčani sastav koji ne odgovara ISO 965-3 u odnosu na oblik nareza ili kvalitetu tolerancije, dopušten je ako prođe ispitivanje probojnog paljenja ako je širina vijčanog sastava specificirana od proizvođača manja od vrijednosti iz tablice 11. (Prema [1], tablica 9-6, tč.15.2. Smjernice konstrukcijskih zahtjeva prema HRN IEC/EN 60079-1)</p>	
SASTAVI S KONIČNIM NAREZOM (a)	
Broj navoja nareza predviđen na svakom dijelu sastava	≥ 5 (b)
<p>(a) Unutarnji i vanjski narez mora imati jednaku nazivnu veličinu.</p> <p>(b) Narez mora odgovarati zahtjevima za NPT narez ANSI/ASME B1.20.1, i mora biti izveden zavijanjem do nepropusnosti. Vijak sa završetkom ili bez njega mora imati:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) iskoristivu duljinu nareza ne manju od "L2" dimenzije, i 2) duljinu ne manju od "L4" dimenzije između površine završetka vijka i kraja nareza pribora. <p>Narez u rupi mora biti takav da se usađivanjem uklopi duljinu od 2 zavoja nareza uz uporabu L1 čepa- mjerila.</p>	

[1] Kod svih vrsta zaštitnih sastava bitno je održati vrijednost raspora u propisanim granicama. Širina sastava se uporabom ne može bitno izmijeniti, ali raspor, pogotovo između kućišta poklopca koji se često otvaraju, uz grubo rukovanje se uporabom može povećati. Na slici 19 prikazana je jedna od mogućih izvedbi za kontrolu raspora pomoću kontrolnog svornjaka (trna). Ukoliko se uoče deformacije na kontrolnom svornjaku može se očekivati povećana opasnost od probojnog paljenja, jer je očito narušena vrijednost raspora između kućišta i poklopca. Poklopac može biti izveden i na okruglom dijelu kućišta i pričvršćen vijcima, pri čemu poklopac može biti s vanjske strane, kao što prikazuje slika 20, ili s unutrašnje strane kućišta.

Pri korištenju poklopca (vrata) s unutarnje strane kućišta, za ugradnju opreme u kućište mora biti omogućen pristup na drugi način, a poklopac (vrata) služe samo za posluživanje. Prednost izvedbe poklopca i vrata s unutrašnje strane je smanjivanje raspora eksplozijom što povoljno djeluje na sprečavanje probojnog paljenja. Bez obzira na položaj poklopca (ili vrata) na okrugloj stjenci, za skupinu IIC, norma ne dopušta upotrebu izvedbe prema slici 20[1].

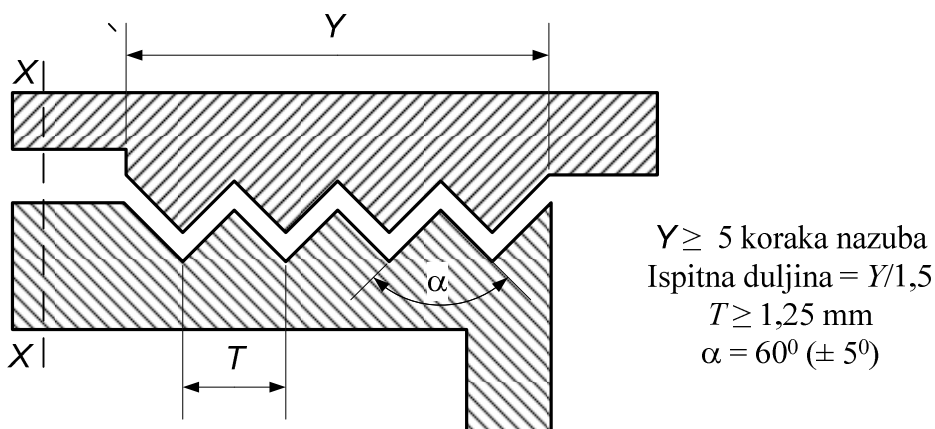


Slika 19. Primjer izvedbe ravnog sastava za neposrednu provjeru raspora kućišta skupine I.



Slika 20. Primjer sastava s djelomično cilindričnim sastavom.

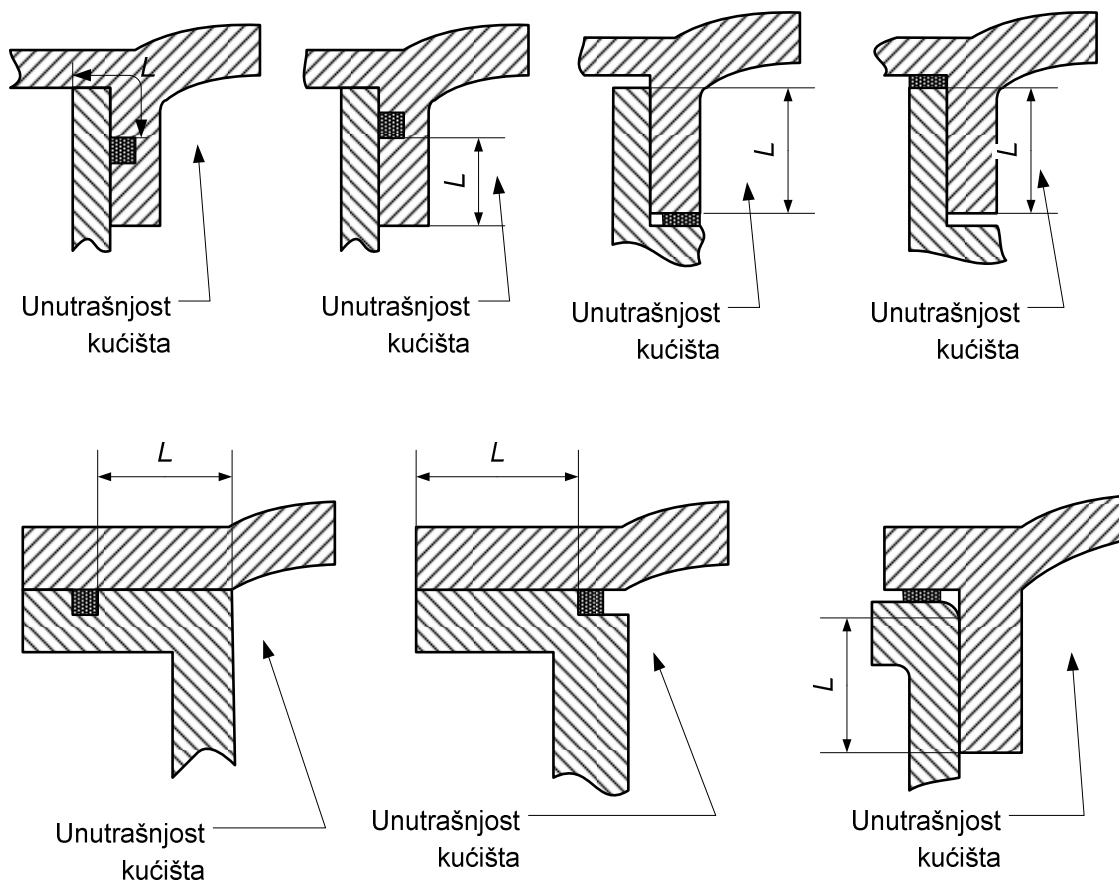
Uz već navedene zaštitne sastave imamo i tzv. zupčasti sastav, slika 21. Konstrukcijski zahtjevi koji se postavljaju na ovu vrstu sastava navedeni su u tablici 9, tč.2.8. Zupčasti sastav se ne smije poistovjetiti s vijčanim sastavom iako je u profilu vrlo sličan. Kod ove vrste sastava, lomljenim profilom produžavamo stazu plamena, te su ispitivanja pokazala da pruža dobru zaštitu od probojnog paljenja, čak i za skupinu IIC. Eventualni nedostatak, je složenost izrade i točnost strojne obrade koju moramo osigurati za ovu vrstu zaštitnog sastava.



Slika 21. Primjer nazubljenog zaštitnog sastava.

1.4.2. BRTVE

Kako zaštitni raspori ne osiguravaju zaštitu od prodora prašine i vode u kućišta. Tamo gdje se postavljaju ti uvjeti potrebno je koristiti brtve, ali one ne smiju povrijediti svojstva zaštite probojnog paljenja i ne računaju se u širinu sastava. Primjeri izvedbi brtvi u zaštitnim sastavima prikazan je na slici 22.



Slika 22. Brtve u zaštitnom sastavu.

Detalji izvedbi regulirani su normom HRN IEC/EN 60529, te mogu zadovoljiti sve stupnjeve zaštite kućištem od prodora stranih tijela i vode, u kućišta 'd' zaštite. Ukoliko je brtva dio sastava, duljina se mjeri kako je prikazano na slici 22.

Brtve u rasporu, uključivo "O" prsten brtve od elastomerskog gradiva, dopuštene su u sastavu IP zaštite. Širina i raspor moraju biti održani, a na cilindričnom dijelu, širina i raspor se provjeravaju prije i poslije pritezanja.

Brtve moraju biti montirane kako slijedi:

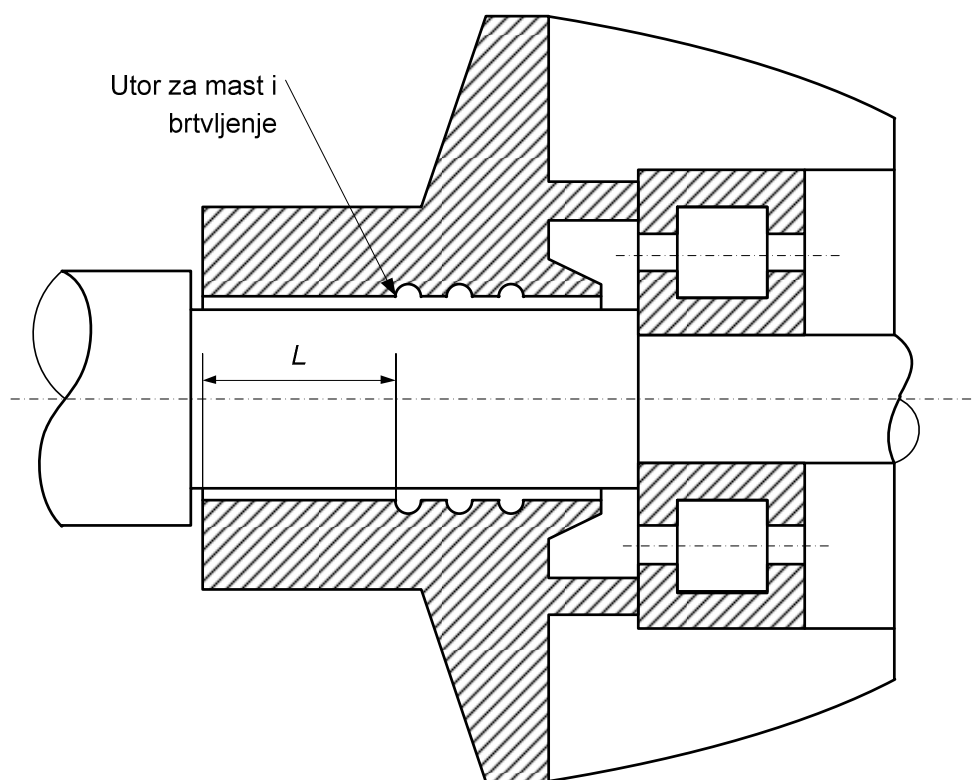
- Dopušteni raspor i širina zaštitnog sastava ili ravni dio sastavljenog sastava moraju biti održani, i

- Najmanja širina cilindričnog sastava, ili cilindričnog dijela sastavljenog sastava moraju zadovoljavati prije i poslije pritezanja.

1.4.3. DODATNI ZAHTJEVI ZA OSOVINE I LEŽAJEVE

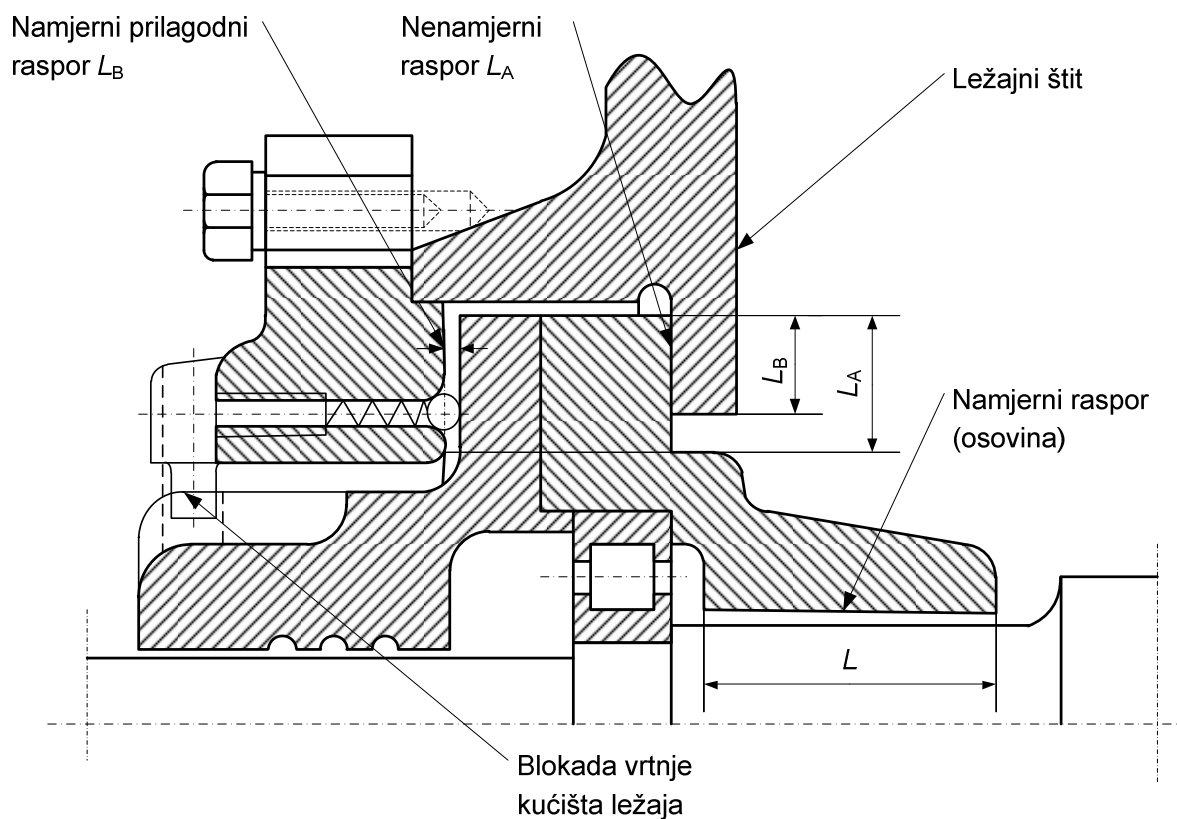
Kako je u uvodu poglavlja 1.4 već izloženo, cilindrični zaštitni sastavi (raspori) većinom se koriste za zatvaranje kućišta ili za osiguravanje prolaza osovina, vratila i poluga. Prolaz osovine koja se u normalnom radu vrti zbog prijenosa snage predstavlja poseban problem izvedbe zaštitnog sastava.

U slučaju prolaza osovine, sastav čini površina rotirajuće osovine i unutarnja strana prstena oko osovine. Primjer izvedbe s valjnim ležajem prikazan je na slici 23. Na slici su vidljivi utori za sprečavanje gubitka podmazivanja ležaja u zaštitnom sastavu.



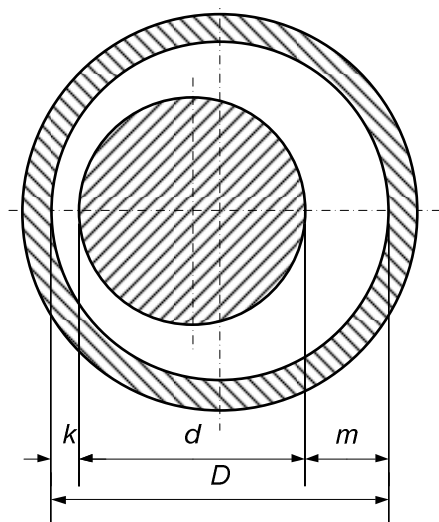
Slika 23. Primjer cilindričnog zaštitnog sastava osovine rotacijskog stroja.

Kod strojeva veće snage pojavljuju se veće elastične deformacije osovine pa i zaštitnih sastava, odnosno raspora, te se pri rotaciji može pojaviti struganje koje može izazvati iskrenje i na taj način biti uzročnik inicijalnog paljenja eksplozivne atmosfere. U tom slučaju potrebne su posebne konstrukcijske izvedbe zaštitnih sastava koje omogućuju kompenzaciju elastičnih deformacija osovine. Jednu od takvih izvedbi prikazuje slika 24.



Slika 24. Primjer zaštitnog sastava s prilagodnim sklopom za osovinu rotacijskog stroja.

Uslijed opterećenja osovine može doći i do ekscentričnosti osovine u zaštitnom rasporu, te se ista mora kontrolirati jer može izazvati spomenuto struganje. Problem ekscentričnosti prikazan je na slici 25.



Slika 25. Presjek osovinskog sastava rotacijskog stroja.

Dodatni zahtjevi koji se postavljaju na osovine i ležajeve prikazani su u tablici 13, sukladno IEC praksi, navode se smjernice s opisom istih.

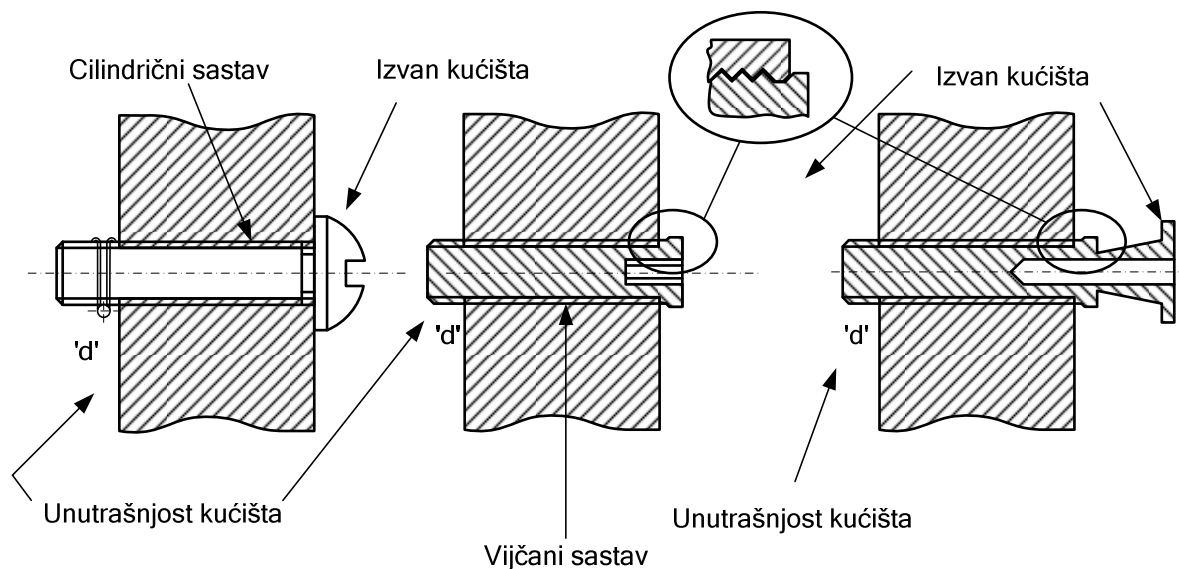
Tablica 13. Dodatni zahtjevi za osovine i ležajeve.

DODATNI ZAHTEVI NA OSOVINE I LEŽAJEVE		
1	<p>ZAŠTITNI SASTAV OSOVINE</p> <p>Ne smije strugati u radu, zbog toga može biti:</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cilindričan, valjni ležaj (Slika 23) • Labirintni • Prilagodljiv osovini (Slika 24)
1.1	<p>CILINDRIČNI SASTAV (Slika 23):</p> <p>Ekscentritet osovine ;</p> <p>$k \geq 0,05$ mm, Prema slici 25.</p>	<p>Može imati utor za mast, ali se ne računa u širinu sastava L.</p> <p>$m \leq 2/3 i_C$, (Tablice 10 i 11).</p>
1.2	<p>LABIRINTNI SASTAV</p> <p>Ako ne zadovoljava vrijednosti iz Tablica 10 i 11, prihvatljiv je ako zadovolji sva ispitivanja 'd' zaštite.</p> <p>Najmanja zračnost k, prema slici 25 osovine rotacijskih dijelova ne smije biti manja od 0,05 mm.</p>	
1.3	<p>SASTAV PRILAGODLJIV OSOSVINI (nije za IIC)</p> <p>Ne rotirajući dio sastava se može pomicati zbog aksijalnog i/ili radijalnog prilagođavanja osovini, ali mora ostati koncentričan i mora biti spriječeno okretanje. Proizvođač propisuje najveći stupanj pomaka vodeći računa o dopuštenom rasporu i dopuštenom habanju ležaja. Primjer prikazuje slika 24.</p>	
2	LEŽAJEVI	
2.1	<p>KLIZNI LEŽAJEVI (nisu za IIC)</p> <p>Dodatan zaštitni sastav ležaju uz uvjete (za cilindrični i labirintni sastav najmanje jedna strana mora biti od ne iskrećeg materijala debljine sloja većeg od zračnosti statora i rotora.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Širina $L \geq$ promjera osovine, ali ne mora biti > 25 mm, • Zaštitni sastav je nezavisan od ležaja • $k \leq$ zračnosti stator/rotor (Slika 25), propisuje proizvođač.
2.2	<p>KOTRLJAJNI (VALJNI) LEŽAJEVI</p> <p>Najveća radijalna zračnost $m \leq 2/3$ razlike promjera prema tablicama 10 i 11 (Slika 25). (U pravilu kod čvrstog dosjeda kotrljajnih ležajeva vrijednosti "m" i "k" udovoljavaju ovim zahtjevima. Samo statističko provjeravanje (RMS) može zahtijevati provjeru "m" i "k" što nije tema ove norme.</p>	

1.4.4. KUĆIŠTA

Kućište oklapanja 'd' čini temelj protueksplozijske zaštite koji se temelji na zaštitnim sastavima. Osim navedenih zahtjeva na zaštitne sastave, na kućište se postavljaju dodatni konstrukcijski zahtjevi.

Ukoliko kućišta imaju uvode za kabele ili cijevi za električne priključke, mogući su direktni ili indirektni uvodi u kućište kroz posebne uvedne uređaje. Za kabele koriste se kableske uvednice, a za cijevi se koriste cijevne uvednice. I jedne i druge moraju biti posebne izvedbe za sprečavanje probojnog paljenja i dovoljne čvrstoće da izdrže unutarnji tlak eksplozije. Obično se kućišta u proizvodnji proizvode s većim brojem rupa od potrebnih koje je potrebno zatvoriti odgovarajućim čepovima koji moraju zadržati svojstva 'd' zaštite. Primjere zatvaranja kućišta s tzv. čepovima prikazuje slika 26.



Slika 26. Primjer Ex čepova za zatvaranje neupotrijebljenih otvora na kućištu.

Svi ugrađeni čepovi moraju biti tako izvedeni da ih nije moguće izvana izvaditi bez uporabe alata. Kako ne bi ostala rupa opasna za probojno paljenje:

- Čep se postavlja uz zaštitni sastav i pričvršćuje se unutar kućišta
- Čep se uvija s narezom a odvijanje je onemogućeno pertlanjem izvana
- Čep je uvijen s narezom a oslabljeni vrat čepa namjerno odstranjen lomljenjem

Kućišta su većinom izrađena od metala, ali mogu biti izrađeni i od nemetalnih materijala. Zahtjevi koji se postavljaju na kućišta djelom su propisani HRN IEC/EN 60079-0 (OPĆI

ZAHTEJEVI), a djelom prema normi HRN IEC/EN 60079-1 (OKLAPANJE 'd'). Od svih zahtjeva koji se postavljaju na kućište u protueksplozijskoj zaštiti oklapanjem 'd', za ovaj rad bitni su zahtjevi koji uvjetuju konstrukcijsko oblikovanje kućišta, a to su; do sad navedeni zaštitni sastavi koji trebaju biti oblikovani i dimenzionirani prema vrijednostima navedenima u tablicama, kao i zahtjevi koji se postavljaju na vijčane spojeve za vezu poklopaca i kućišta.

Tako je prema tablici 9, tč.2.4, navedena smjernica za zračnost između vijaka i rupa prema HRN IEC/EN 60079-0. Zahtjevi definirani normom HRN IEC/EN 60079-0 koji se odnose na pričvršne elemente (vijke i matice) prikazani su u tablici 14.

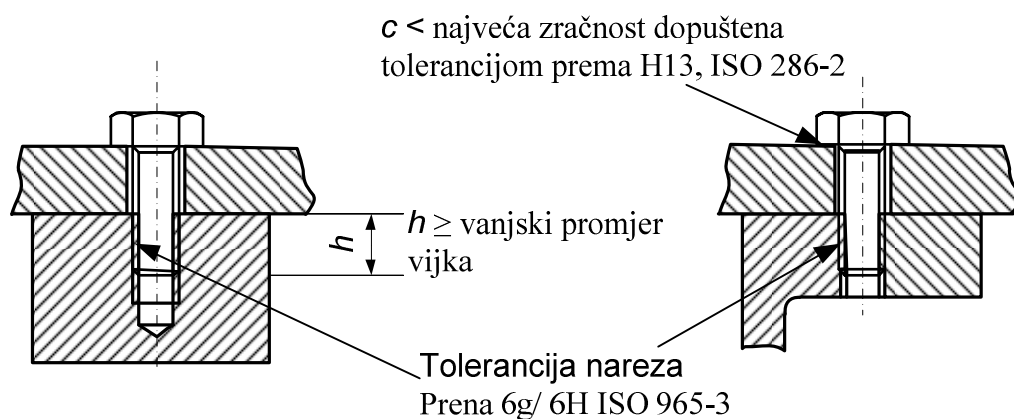
Tablica 14. Konstrukcijski zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-0 za pričvršne elemente.

Konstrukcijski zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-0 za PRIČVRSNE ELEMENTE (vijke i matice)	
1	<p>OPĆENITO</p> <p>Pričvršćenje dijelova koji osiguravaju vrstu zaštite ili sprečavaju dodir dijelova pod naponom mora biti izveden tako da je njihovo otpuštanje moguće samo alatom. Pričvršni vijci za kućišta koja sadrže lake metale mogu biti od lakih metala ili plastike ako im je materijal prikladan kućištu.</p>
2	<p>POSEBNI PRIČVRSNI ELEMENTI (VIJCI I MATICE)</p> <p>Primjenjuju se samo ako to zahtjeva norma vrste zaštite i to:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Samo metrički narez s korakom prema ISO 262, tolerancije 6g/6H prema ISO 965-1 i 3 • Glave vijaka ili matice prema ISO:4014, 4017, 4032, 4762 ili 7380, a u slučaju glava s šesterobridnim upustom (imbus) prema ISO 4026 do 4029; ostale glave vijaka ili matice su dopuštene ako je oprema označena s "X" sukladno pravilima za označavanje (prema [1], D. Marinović, tablica 8-1, opći zahtjevi za sve vrste protueksplozijske zaštite) • Rupe ili provrti s narezom prema tč.3 ove tablice <p><i>Za posebna zatvaranja preporuča se tablica 15.</i></p>
3	PROVRTI/RUPE ZA POSEBNO PRIČVRŠĆENJE
3.1	<p>UGLAVLJENOST NAREZA</p> <p>Rupe za posebne pričvršne vijke, propisane u tč.2 ove tablice, moraju biti narezane u duljini h da omoguće uglavljivanje ($h \geq$ od promjera nareza vijka), vidi slike 27 i 28.</p>

TOLERANCIJE I ZRAČNOSTI

Narezi provrta moraju imati toleranciju 6H prema ISO 965-1 i 3, te:

- Zračnost provrta ispod glave vijka ne veću od srednje tolerancije H13 prema ISO 286-2 (vidi sliku 27), ili
- Provrt s narezom, ispod glave vijka sa suženim vratom, mora biti takav da osigurava najmanji dosjed glave vijka kao i kod vijaka bez suženog vrata (vidi sliku 28).



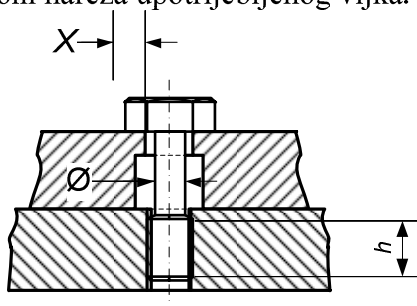
3.2

Slika 27. Tolerancije i zračnosti za pričvrstne elemente/vijke.

Ø- standardno proširnje rupe odgovarajuće obliku nareza

h - \geq vanjskog promjera nareza pričvršćenog vijka

X - dosjed glave vijka sa smanjenim promjerom vrata vijka, $X \geq$ dosjeda glave standardnog vijka (bez smanjenog promjera) i dijela s narezom kroz provrt ispod glave s dimenzijom nareza upotrijebljenog vijka.



Slika 28. Dodirna površina glave pričvrstnog vijka sa smanjenim promjerom.

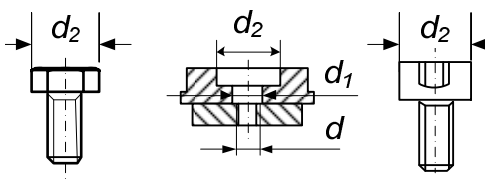
3.3

VIJCI SA ŠESTEROBRIDNIM UPUSTOM (imbus)

Vijak sa šesterobridnim upustom u glavi (imbus) mora imati navoj tolerancije 6H

prema ISO 965-1 i 3, a glava ne smije stršati iznad provrta u pritegnutom stanju. Vidi tablicu 15.
--

Tablica 15. Vijci za posebno zatvaranje kućišta.

NAZIVNI PROMJER		ZAŠTITNI PRSTEN ILI UDUBLJENJE		
Nareza d (mm)	Provrta d_1 (mm)	Zaštita glave vijka h_{min} (mm)		
ISO 965 H6	ISO 286 H13			
M4	4,5	4	-	8-9
M5	5,5	5	17-19	10-11
M6	6,6	6	18-20	11-12
M8	9	8	22-25	15-16
M10	11	10	27-30	18-20
M12	14	12	31-35	20-22
M14	16	14	36-40	24-26
M16	18	16	40-44	26-28
M20	20	20	46-50	33-35
M24	24	24	27-61	40-42

Zaključno, zahtjevi koji se propisuju na elemente za zatvaranje kućišta (vijke i matice) koje propisuje norma HRN IEC/EN 66079-1 prikazani su u tablici 16. S tim završava uvodni dio diplomskog rada koji se odnosi na razmatranje problematike rada neelektričnih uređaja u eksplozivnoj atmosferi, kao i normativni dio konstrukcijskih zahtjeva koji se propisuju za izvedbu zaštite oklapanjem 'd'.

Tablica 16. Konstruktivni zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-1 za pričvrstne elemente

Konstruktivni zahtjevi prema HRN IEC/EN 60079-1 za PRIČVRSTNE ELEMENTE (vijke i matice)	
1	<p>Elementi za zatvaranje pristupačni izvana za integritet 'd' zaštite moraju biti za skupine:</p> <p>I: posebno zatvaranje (HRN IEC/EN 60079-0 uz zaštitni prsten ili upust glave, odnosno konstrukcijom;</p> <p>II: prema tč.2. Tablica 14 (HRN IEC/EN 60079-0)</p> <p>Načelo zaštite glave vijka skupine I je osiguranje od udara i povrede.</p>
2	Elementi za zatvaranje od lakog metala ili plastike nisu dozvoljeni.
3	<p>Pri tipnim ispitivanjima (prema [1], D. Marinović, tablica 9-6,tč.15), moraju se koristiti samo vijci specificirani od proizvođača. Svojstva primijenjenog razreda vijaka ili matica, ili dopuštenog naprezanja, i tip vijka ili matice upotrijebljenih za ispitivanje moraju biti:</p> <p>a) Označena na kućištu sukladno pravilima označavanja, (prema [1], D. Marinović, tablica 9-6, tč. 20.2), ili</p> <p>b) Specificirana u dokumentaciji, odnosno certifikatu</p>
4	Svornjaci moraju biti pouzdano trajno učvršćeni (npr. zavarivanjem ili na drugi efikasan način). Za čvrstoću vrijedi isto kao i za vijke prema tč.3 ove tablice.
5	Elementi za učvršćenje ne smiju prolaziti kroz stjenku kućišta osim ako s njom čine zaštitni sastav te da su neodvojivi od kućišta (npr. zavarivanjem ili na drugi efikasan način)
6	Za rupe vijaka koji ne prolaze kroz stjenku 'd' kućišta, preostala debljina stjenke mora biti $\geq 1/3$ promjera vijka ali ne manje od 3 mm.
7	U slijepoj rupi ispod pritegnutog vijka bez podloške mora ostati najmanje jedan puni navoj nareza slobodan.
8	Ako se probuši rupa kroz stjenku 'd' kućišta ona mora biti zatvorena tako da zadržava svojstva 'd' zaštite s učvršćenjem kao za svornjake prema tč.4 ove tablice.

2. KONTROLNI PRORAČUN

2.1. ELEKTROMAGNETSKA SPOJKA

Elektromagnetska zupčasta spojka spada u grupu uključno/isključnih spojki. Princip rada je identičan za sve vrste elektromagnetskih spojki, neovisan je o načinu uvoda električne energije, (klizni prsten, ili direktni uvodi) i o načinu prijenosa okretnog momenta (trenjem ili oblikom). Prolaskom električne energije kroz zavojnicu inducira se magnetsko polje, uslijed čega se aksijalno pomični dio spojke, privuče k nepomičnom djelu te se na taj način ostvari potrebna veza pogonske i gonjene strane. Okretni moment prenosi se ili trenjem ili oblikom. Prekidom strujnog kruga, nepomični dio spojke gubi svojstva magneta, te se aksijalno pomičan dio, preko opruga vrati u prvobitni položaj.

Prema ulaznim podacima maksimalni moment koji mora prenijeti spojka T_{max} iznosi 10 Nm. On predstavlja tzv. maksimalni (udarni) moment koji se može javiti u toku rada, a ovisi o faktorima udara i nazivnom okretom momentu.

Prema [4], maksimalni okretni moment T_{max} računamo prema jednadžbi

$$T_{max} = (c_1 + c_2)T$$

Očitane vrijednosti faktora udara; $c_1 = 0,5$ i $c_2 = 1,5$

Slijedi da je nazivni okretni moment T , prema kojem se treba odrediti snaga elektromotora;

$$T = \frac{T_{max}}{(c_1 + c_2)} = \frac{10}{(0,5 + 1,5)} = 5 \text{ Nm}$$

Kako je spojka namijenjena radu u eksplozivnoj atmosferi, potrebno je svesti toplinsku disipaciju na minimum. Stoga se odlučuje za čeonu ozublenu elektromagnetsku spojku kod kojih su navedene toplinske disipacije minimalne, pogotovo u odnosu na lamelne spojke gdje se tokom uključivanja razvija toplina uslijed proklizavanja pogonske i gonjene strane do postizanja sinkrone brzine vrtnje.

Kod čeonu ozubljenih spojki okretni moment se prenosi oblikom i nema proklizavanja koje bi dodatno oslobodilo toplinu koja može povećati temperaturu sustava. Prema naputku mentora, odabire se elektromagnetska spojka s čeonim ozubljenjem proizvođača Stromag,

Uvidom u katalog proizvođača, odabire se čeonu ozubljenja elektromagnetska spojka EZB 10T s sljedećim svojstvima:

- Prenosivi moment vrtnje: $T_{pren} = 100 \text{ Nm}$
- Maksimalna brzina vrtnje za rad na suho: $n = 3800 \text{ min}^{-1}$
- Zavojnica;
 - nazivni napon: 24 V DC,
 - snaga: 29,7 W
 - nazivna struja: $I = 1,2 \text{ A}$,
 - klasa izolacije: F
- priključne mjere:
 - A strana: $\text{Ø}19\text{H}7 + \text{utor } 6\text{P}9 \text{ DIN } 6885$
 - B strana: $\text{Ø}35\text{H}7 + 3\text{xM}5 + 3\text{x } \text{Ø}5$
- Zračnost podešavanja: $0,3 + 0,2 \text{ mm}$

Napomena:

iako je maksimalni moment prema kojem se određuje veličina spojke $T_{max} = 10 \text{ Nm}$, odabire se navedena spojka s maksimalnim prenosivim momentom od 100 Nm iz razloga što je, za Stromag, to najmanja spojka u ponudi, a da udovoljava traženim svojstvima (čeonu Hirth-ovo ozubljenje).

S obzirom na predviđeni broj uključivanja $z \leq 15$, uvidom u dokumentaciju za odabranu spojku, temperatura spojke za 20 uključivanja na sat (više od predviđenih 15), iznosi 50°C , što je manje od temperaturnog razreda T3 (200°C) u kojem je se predviđa rad spojke.

2.2. ELEKTROMOTOR

Kontrolni proračun za određivanje potrebne snage elektromotora provodi se u dvije faze. Prva faza određena je definiranim ulaznim podacima za elektromagnetsku spojku, a ti su; definirana brzina vrtnje i očekivani maksimalni okretni moment.

S druge strane, provodi se kontrolni proračun na način da se analiziraju očekivana radna stanja, odnosno uvjeti rada iz čega proizlaze opterećenja koje odabrani elektromotor mora zadovoljiti. Naravno, ovaj korak podrazumijeva provjeru ulaznih podataka za elektromagnetsku spojku (maksimalni okretni moment, nominalna brzina vrtnje), jer se isti i određuju na temelju analize radnih uvjeta i predviđenog opterećenja. Na taj način će se

provjeriti dali su ulazni podaci za elektromagnetsku spojku u skladu s očekivanim opterećenjem prema željenim eksploatacijskim uvjetima.

Prema opisanom postupku izlaganja, slijedi prva faza proračuna i odabir elektromotora na temelju zadanih ulaznih podataka definiranih diplomskim zadatkom.

2.2.1. Odabir elektromotora na temelju ulaznih podataka za elektromagnetsku spojku

Odabir elektromotora se vrši prema potrebnoj snazi, odnosno prema nazivnom momentu T i potrebnoj brzini vrtnje n .

Prema [4], snagu elektromotora P_{EM} dobijemo preko izraza:

$$P_{EM} = T * \omega = T * 2\pi n$$

Slijedi da je potrebna snaga elektromotora P_{EM} :

$$P_{EM} = 5 * 2 * 3,14 * \frac{1500}{60} = 785 \text{ W}$$

Kako se radi o prostoru ugroženom eksplozivnom atmosferom, elektromotor mora udovoljavati zahtjevima koji se postavljaju na električne uređaje. Končar elektromotori, serije 5AT i 7AT izvode se sukladno zahtjevima koje nalaže ATEX 95 i ATEX 137 za uporabu u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom. Prema [5], zadovoljavaju sljedeće norme:

- HRN IEC/EN 60079-1 (oklapanje 'd')
- HRN IEC/EN 60079-7 (povećana sigurnost)
- HRN IEC/EN 60079-15 (vrsta zaštite 'n')
- HRN IEC/EN 60079-31 (zaštita kućištem)

Prema izračunatoj snazi, odabire se Končar elektromotor, 5ATKA 80 B-4 B5 sljedećih karakteristika:

- Nazivni moment vrtnje: $T_{naz} = 5 \text{ Nm}$,
- Nazivna snaga: $P_{EM} = 0,75 \text{ kW}$,
- Nominalna brzina vrtnje: $n = 1390 \text{ min}^{-1}$
- Nazivni napon: 3x400 V 50 Hz, $I_{naz} = 1,9 \text{ A}$
- Priključne mjere:
 - Priključno vratilo: Ø19j6 + utor za pero 6P9 DIN 6885
 - Veličina prirubnice Ø200, (IM B5)

- Klasa izolacije: F
- Stupanj zaštite IP 55

Radi se od protueksplozijskoj izvedbi motora, serije 5AT (aluminijско kućište), s kočnicom, specijalne mehaničke izvedbe, s zaštitom od zapljuskivanja vodom sa svih strana.

Priključne mjere (IMB5) definirane su prema IEC standardu, (IEC 60072), kako bi se osigurala brza ugradnja i zamjena motora neovisno o proizvođaču.

2.2.2. *Određivanje potrebne snage elektromotora na temelju analize radnih stanja i očekivanih opterećenja u toku rada*

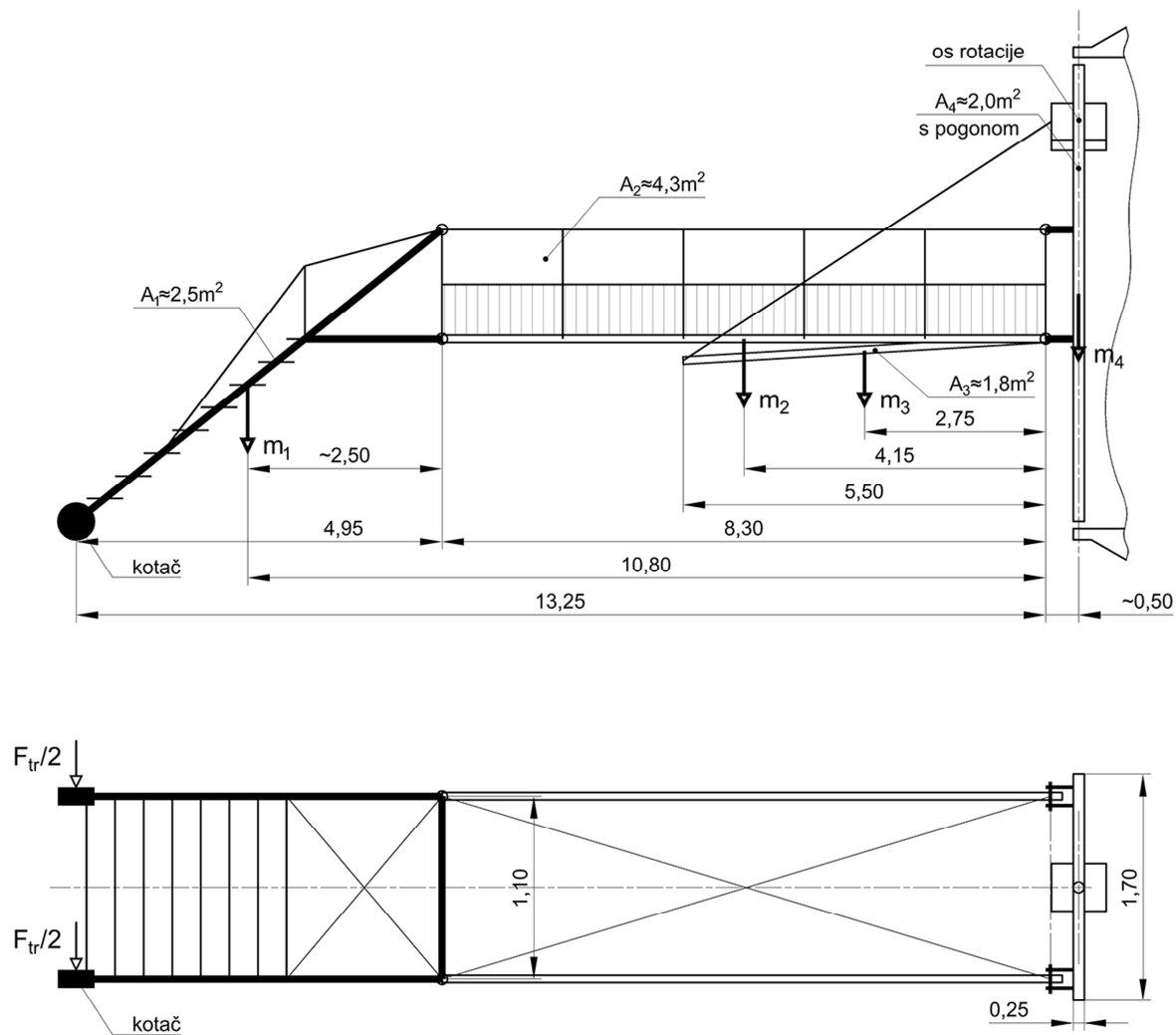
Funkcija elektromagnetske spojke u sustavu prijenosa gibanja/snage je omogućavanje prijenosa okretnog momenta potrebnog za rotaciju stepenica koje služe za vezu između naftnog terminala i brodova u privezu istog. Kako se brodovi prilikom priveza u odnosu na naftni terminal pomiču, potrebno je odrediti pripadajuća opterećenja te ista reducirati na vratilo elektromotora u cilju određivanja potrebne snage predmetnog motora.

Na slici 29 , prikazane su predmetne stepenice sa svim potrebnim dimenzijama za kontrolni proračun. Spomenuti sustav prijenosa snage/gibanja, može se prikazati slijedom:

Elektromotor + elektromagnetska spojka + zupčanički planetarni prijenosnik + segmentni zupčanik + okretač stepenica.

Prilikom određivanja reduciranih opterećenja na vratilo elektromotora, razlikujemo dva moguća scenarija. Prvi scenarij (normalno radno stanje)- kotači preko kojih se stepenice oslanjaju na palubu broda su slobodni- ne blokirani, a kako su okretni oko svoje vertikalne osi, uslijed pomaka broda, prilagođavaju se po principu manjeg otpora smjeru gibanja, te na taj način kompenziraju nastale pomake.

Razmatranje opisanog radnog stanja obuhvaća izračun momenta inercije na temelju definiranih masa u sustavu, određuje se potrebni moment ubrzanja masa, te se isti reduciraju na vratilo elektromotora u svrhu određivanja reduciranog opterećenja, (okretnog momenta na vratilo elektromotora).



Slika 29. Struktura pomičnih stepenica u horizontalnom položaju.

Drugi scenarij obuhvaća situaciju u kojoj su kotači blokirani, gdje se uslijed pomaka broda javlja okretni moment trenja koji sa spomenutim opterećenjima dodatno opterećuje vratilo elektromotora.

Mase sustava prema slici 29:

$$m_1 \approx 260 \text{ kg}; m_2 \approx 1530 \text{ kg}; m_3 \approx 750 \text{ kg}; m_4 \approx 1500 \text{ kg}$$

m_1 - masa fiksnog dijela stepenica uvećane za masu ograde,

m_2 - masa pomičnog dijela stepenica

m_3 - masa podizača s čeličnom užadi

m_4 - masa okretača stepenica sa pogonom za podizanje stepenica;

Moment tromosti stepenica je najveći u prikazanom položaju i iznosi:

$$J_{\text{rot,st}} = J_{\text{rot,1}} + J_{\text{rot,2}} + J_{\text{rot,3}} + J_{\text{rot,4}} = 111620 + 35300 + 7650 + 400 = 154970 \approx 155000 \text{ kgm}^2$$

$$J_{\text{rot,1}} = \left(\frac{4,95^2 + 1,1^2}{12} + 11,3^2 \right) \cdot 860 = 111620 \text{ kgm}^2$$

$$J_{\text{rot,2}} = \left(\frac{8,3^2 + 1,1^2}{12} + 4,15^2 \right) \cdot 1530 = 35288 \approx 35300 \text{ kgm}^2$$

$$J_{\text{rot,3}} = \left(\frac{5,5^2 + 1,1^2}{12} + 2,75^2 \right) \cdot 750 = 7638 \approx 7650 \text{ kgm}^2$$

Potrebni moment za pokretanje stepenica:

$$T'_{\varepsilon,\text{red1}} = J_{\text{rot,st}} \left(\frac{1}{i_{\text{uk}}} \right)^2 \cdot \varepsilon \cdot s_1 = 155000 \cdot \left(\frac{1}{5192} \right)^2 \cdot \frac{157,1}{0,5} \approx 1,81 \text{ Nm}$$

$$i_{\text{uk}} = i_{\text{red}} \cdot i_{\text{zup}} = 649 \cdot 8 = 5192$$

Iz konstrukcije stepenica priveza slijede podaci:

- Prijenosni omjer segmentnog zupčanika; $i_{\text{zup}} = 8$
- Prijenosni omjer reduktora: $i_{\text{red}} = 649$
- Kutno ubrzanje stepenica: $\varepsilon_1 = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{157,1}{0,5} = 314,2 \text{ rad/s}^2$
 - $\Delta t_1 = t_{\text{uklj}} = 0,5 \text{ s}$ - predviđeno vrijeme zaleta elektromotora
 - $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_0 = (n_1 - n_0) \cdot 2\pi = 2\pi \cdot n_{EM} = \frac{2\pi \cdot n_{EM}}{60} = \frac{2\pi \cdot 1500}{60} = 157,1 \text{ rad/s}$
- $s = 1,25 \text{ s}$ - vrijeme potrebno za ubrzanje preostalih rotacijskih masa u sustavu (zupčanici i prijenosnik)

Moment odabranog elektromotora iznosi:

$$T_{EM} = \frac{P}{\omega} = \frac{60 \cdot P}{2\pi \cdot n_{EM}} = \frac{60 \cdot 750}{2\pi \cdot 1500} = 4,77 \approx 5 \text{ Nm}$$

Uzevši u obzir iskoristivost sustava, mora biti zadovoljeno:

$$T_{EM} \geq T'_{\varepsilon, \text{red } 1} \cdot \frac{1}{\eta_{uk}} = T_{\varepsilon, \text{red } 1} = 1,81 \frac{1}{0,75} = 2,4 \text{ Nm}, \text{ gdje je } \eta_{uk} \text{ ukupna iskoristivost i iznosi}$$

75%.

U slučaju da dođe do naglog zakreta stepenica, pomaka broda u odnosu na stepenice, određuje se moment ubrzanja masa kao i njegov utjecaj na vratilo elektromotora. Prilikom naglog pomicanja broda izmjeren je pomak od 1m u trajanju od 5 sekundi, što daje sljedeće odnose:

Obodna brzina na vrhu stepenica:

$$v = \frac{s}{t_{uk}} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ m/s}$$

Kutna brzina stepenica uslijed pomaka:

$$\omega_{st, \text{ nagli zakret}} = \frac{v}{r} = \frac{0,2}{13,75} = 0,015 \text{ rad/s}$$

Kutna brzina rotora elektromotora uz zadani prijenosni omjer prema $\omega_{st, \text{ nagli zakret}}$:

$$\omega_{EM, \text{ nagli zakret}} = \omega_{st, \text{ nagli zakret}} \cdot i_{uk} = 0,015 \cdot 5192 = 77,9 \text{ rad/s}, \text{ pa je:}$$

$$n_{EM, \text{ nagli zakret}} = \frac{\omega_{EM, \text{ nagli zakret}}}{2\pi} \cdot 60 = \frac{77,9}{2\pi} \cdot 60 = 743,9 \text{ min}^{-1}, \text{ što je manje od nazivne brzine}$$

vrtnje (1500 min^{-1}).

Reducirani moment ubrzanja masa (stepenice + prijenosnik):

$$T'_{\varepsilon, \text{red } 2} = J_{rot, st} \left(\frac{1}{i_{uk}} \right)^2 \cdot \varepsilon \cdot s_2 = 155000 \cdot \left(\frac{1}{5192} \right)^2 \cdot \frac{77,9}{5} \approx 0,1 \text{ Nm}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega_{EM, \text{ nagli zakret}}}{\Delta t_{uk}} = \frac{77,9}{5} = 15,6 \text{ rad/s}^2$$

Stvarni moment koji opterećuje vratilo elektromotora, uslijed naglog ubrzanja masa, iznosi:

$$T_{EM, \text{ nagli zakret}} = T'_{\varepsilon, \text{red } 2} \cdot \eta_{uk} = T_{\varepsilon, \text{red } 2} = 0,1 \cdot 0,75 = 0,075 \text{ Nm} \leq T_{EM} = 5 \text{ Nm}$$

$$T_{uk, \text{ red } 1} = T_{\varepsilon, \text{red } 1} + T_{\varepsilon, \text{red } 2} = 2,4 + 0,075 = 2,475 \approx 2,5 \text{ Nm}$$

Zaključno, moment ubrzanja masa, uslijed naglog pomicanja stepenica pri ostvarenoj obodnoj brzini od 0,2 m/s na vrhu stepenica, preko zupčaničkog reduktora i spojke opterećuje vratilo elektromotora u iznosu koji je višestruko manji od nazivnog momenta odabranog

elektromotora. Prema provedenoj analizi za dati slučaj, odabrani elektromotor zadovoljava uvjete opterećenja.

Drugi scenarij-kotači stepenica su blokirani i dolazi do klizanja kotača prilikom zakretanja. Faktor trenja za klizni par guma/čelik iznosi $\mu \approx 0,4$.

Sila trenja na vrhu stepenica:

$$F_{tr} = \mu \cdot N = \mu \cdot \frac{1}{2} \cdot (m_1 + m_2) \cdot g = 0,4 \cdot \frac{1}{2} \cdot (860 + 1530) \cdot 9,81 = 4689 \approx 4700 \text{ N}$$

Moment trenja u osi rotacije:

$$T_{tr} = F_{tr} \cdot 13,75 = 4700 \cdot 13,75 = 64625 \text{ Nm}$$

Moment trenja reduciran na vratilo elektromotora:

$$T_{tr,red} = T_{tr} \cdot \left(\frac{1}{i_{uk}} \right) \cdot \eta_{uk} = 64625 \cdot \left(\frac{1}{5192} \right) \cdot 0,75 = 9,33 \text{ Nm},$$

Ukupni moment reduciran na rotor elektromotora:

$$T_{uk,red2} = T_{e,red2} + T_{tr,red} = 0,1 + 9,33 = 9,43 \approx 9,5 \text{ Nm}$$

Zaključak:

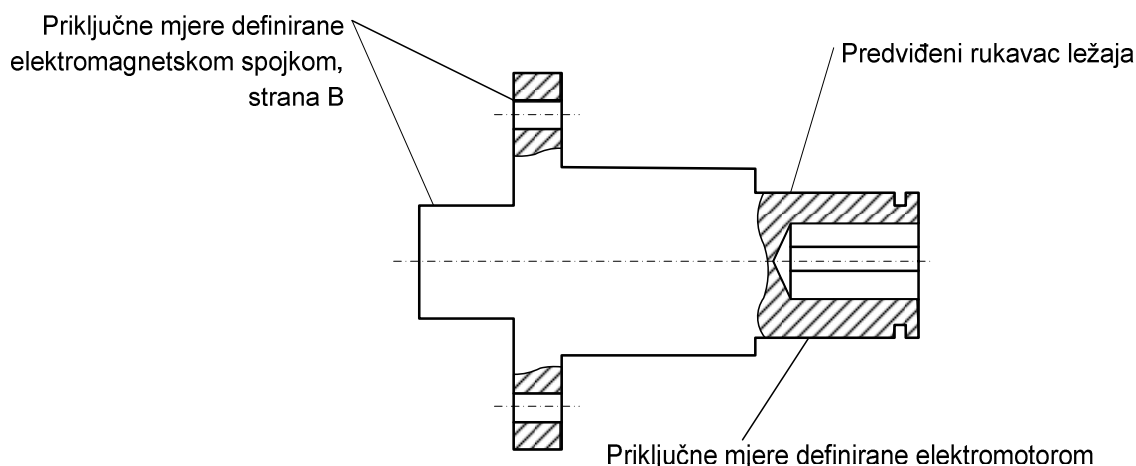
Ukupni moment reduciran na vratilo elektromotora je veći od nominalnog okretnog momenta (5 Nm) i veći je za 90%, međutim- na odabranom elektromotoru ugrađena je elektromagnetska kočnica, $T_{koč}=10 \text{ Nm} > T_{uk,red2}= 9,5 \text{ Nm}$, tj. Elektromotor zadovoljava uvjete kada dolazi do proklizavanja kotača po palubi broda.

2.3. VRATILO - ELEKTROMOTOR

U ovom slučaju, dimenzije “vratila elektromotora“, (vratilo koje se s jedne strane spaja na elektromagnetsku spojku, strana B- $\text{Ø}35\text{H}7$ i s druge strane na elektromotor s priključnom dimenzijom vratila $\text{Ø}19\text{j}6$) već su određene priključnim mjerama odabranog elektromotora i elektromagnetske spojke.

Prema tome, izostaje klasičan način dimenzioniranja vratila prema proračunu čvrstoće, već se vratilo dimenzionira prema odabranom valjnom ležaju i navedenim priključnim mjerama za elektromotor i spojku.

Kontrolni proračun vratila se vrši po pojedinim presjecima vratila [6] pri čemu se utvrđuje čvrstoća oblika kontrolnih presjeka obzirom na dinamičku izdržljivost materijala vratila, utjecaje zareznog djelovanja, hrapavosti površine, veličine presjeka i udarno djelovanje opterećenja.

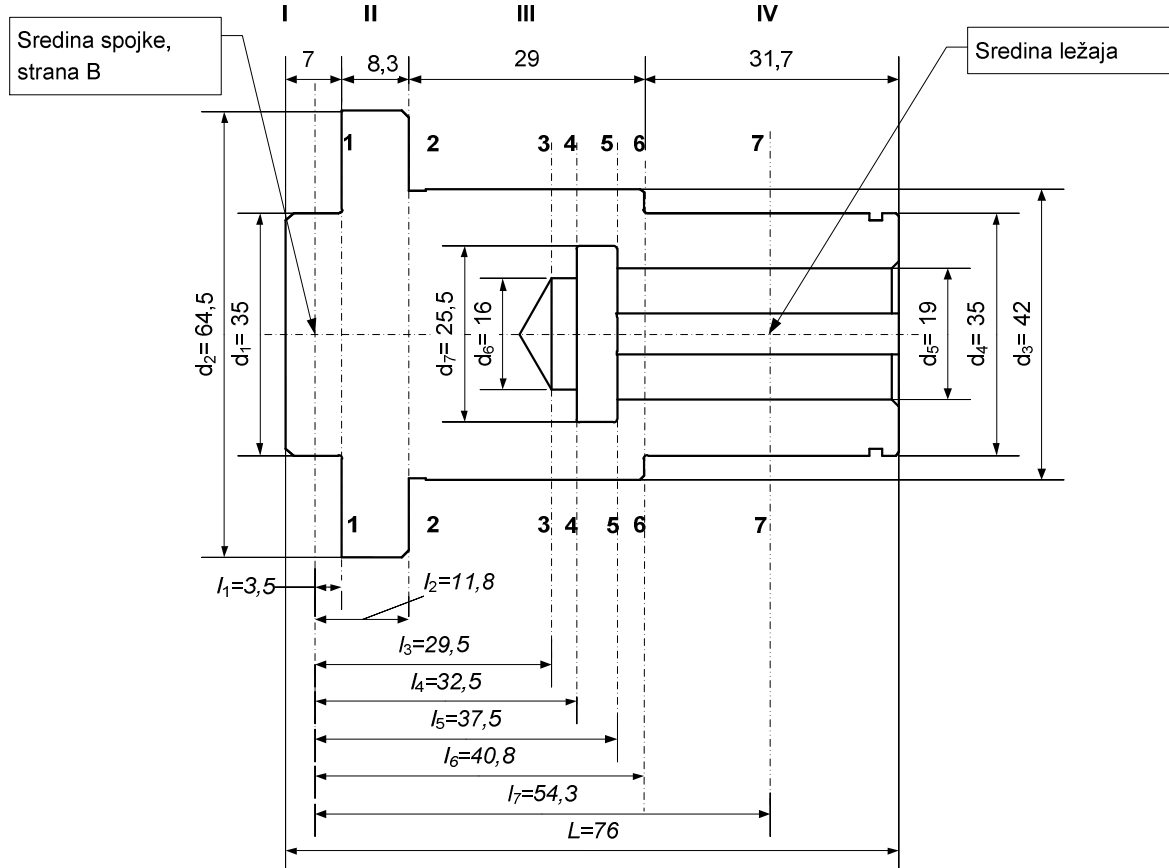


Slika 30. Pojednostavljeni prikaz “vratila elektromotora“.

Napomena:

“Vratilo elektromotora“- je vratilo koje spaja spojku, strana B i elektromotor. Naziv, “Vratilo elektromotora“ dodijeljeno je vratilu spojke, kao opis, iz razloga što se spaja na elektromotor i u doslovnom značenju ne predstavlja vratilo samog elektromotora, već ga treba shvatiti kako je opisano. Analogno, vrijedi za „Vratilo reduktora“- dio ne predstavlja vratilo reduktora, već predstavlja vratilo spojke koje se spaja na reduktor.

Temeljem odabranog ležaja, dvoredni kuglični ležaj 3207.2RS, na slici 31 prikazano je dimenzijski oblikovano “vratilo elektromotora“, slika prikazuje osnovne dimenzije potrebne za kontrolni proračun.



Slika 31. Dispozicija “vratila elektromotora“.

Sile koje opterećuju “vratilo elektromotora“:

Težina polovice spojke:

$$\frac{1}{2}G_S = \frac{1}{2} * m_S * g = \frac{1}{2} * 1,1 * 9,81 = 5,4 \text{ N}$$

Torzijski moment T_{\max} , zadano: $T_{\max} = 10 \text{ Nm}$

Aksijalna sila kao posljedica čeonog Hirth-ovog ozubljenja, prema [4];

$$F_{\text{aksial}} \cong 0,4 F_T,$$

$$F_T = \frac{2 T_{\max}}{d_{\text{sr}}}$$

Pa je;

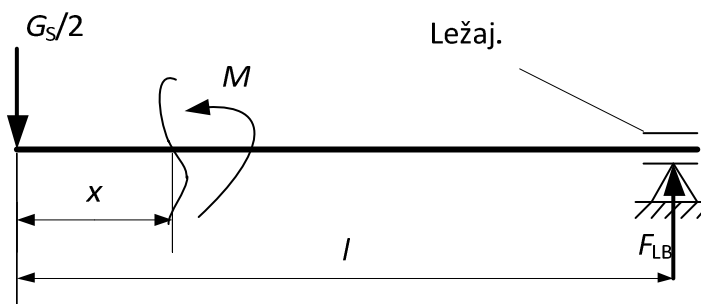
$$F_{\text{aksial}} \cong 0,4 \frac{2 T_{\max}}{d_{\text{sr}}}$$

$$d_{\text{sr}} \approx 70,2 \text{ mm},$$

$$F_{\text{aksial}} \cong 0,4 \frac{2 * 10}{0,0702} = 114 \text{ N}$$

Relevantna opterećenja djeluju u vertikalnoj ravnini, nema horizontalnih komponenta sile.

Prema slici 32, određuju se momenti savijanja u kritičnim presjecima.



Slika 32. Određivanje momenta savijanja- “vrtilo elektromotora“.

$$M = \frac{G_s}{2} x \quad (1)$$

Ukoliko se uvrste vrijednosti za x - udaljenosti kritičnih presjeka od hvatišta sile, dobivamo vrijednosti momenata savijanja u označenim presjecima prema slici 30. Momenti savijanja u kritičnim presjecima:

$$M_1 = \frac{G_s}{2} l_1 = 5,4 * 3,5 = 18,9 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = \frac{G_s}{2} l_2 = 5,4 * 11,8 = 63,7 \text{ Nmm}$$

$$M_3 = \frac{G_s}{2} l_3 = 5,4 * 29,5 = 159,3 \text{ Nmm}$$

$$M_4 = \frac{G_s}{2} l_4 = 5,4 * 32,5 = 175,5 \text{ Nmm}$$

$$M_5 = \frac{G_s}{2} l_5 = 5,4 * 37,5 = 202,5 \text{ Nmm}$$

$$M_6 = \frac{G_s}{2} l_6 = 5,4 * 40,8 = 220,3 \text{ Nmm}$$

$$M_7 = \frac{G_s}{2} l_7 = 5,4 * 54,3 = 293,2 \text{ Nmm}$$

Osim fleksijski, vrtilo je opterećeno uvojno. Reducirano opterećenje u pojedinim presjecima računamo prema :

$$M_{\text{red}} = \sqrt{(M * \beta_{kf})^2 + 0,75(\alpha_0 * T * \beta_{kt})^2} \quad (2)$$

Gdje je:

α_0 - faktor čvrstoće materijala vratila s obzirom na način njegova opterećenja

$$\alpha_0 = \frac{\sigma_{fDN}}{1,73\tau_{tDN}}$$

S obzirom na odabrani materijal vratila 42CrMo4 (Č4732.4) i uz odabranu sigurnost $S = 2,5$, dopuštene vrijednosti naprezanja iznose:

$$\sigma_{fDN,dop} = \frac{\sigma_{fDN}}{S} = \frac{500}{2,5} = 200 \rightarrow \sigma_{fDN,dop} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{tDN,dop} = \frac{\tau_{tDN}}{S} = \frac{280}{2,5} = 112 \rightarrow \tau_{tDN,dop} = 112 \text{ N/mm}^2$$

Faktor čvrstoće materijala:

$$\alpha_0 = \frac{500}{1,73 * 280} = 1,03$$

Vrijednosti reduciranih momenata savijanja u pojedinim presjecima:

Presjek 1-1

$$M_{red,1} = \sqrt{(18,9 * 3,04)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,8)^2} = 16056,2 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_1/d_2):

$$\beta_{kf,1} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,97(3,1 - 1) = 3,04$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0142; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 3,1$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{64,5}{35} = 1,84\right) \rightarrow c_1 = 1,84$$

$$\beta_{kt,1} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 1(1,8 - 1) = 1,8$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0142; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 1,8$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{64,5}{35} = 1,84\right) \rightarrow c_2 = 1$$

Presjek 2-2

$$M_{red,2} = \sqrt{(63,9 * 2,78)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,84)^2} = 16413,8 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_2/d_3):

$$\beta_{kf,2} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,81(3,2 - 1) = 2,78$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{42} = 0,0119; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 3,2$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{64,5}{42} = 1,54\right) \rightarrow c_1 = 0,81$$

$$\beta_{kt,2} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 1(1,84 - 1) = 1,84$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{42} = 0,0119; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 1,84$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{64,5}{42} = 1,54\right) \rightarrow c_2 = 1$$

Presjek 3-3

$$M_{\text{red},3} = \sqrt{(159,3)^2 + 0,75(1,03 * 10000)^2} = 8921,5 \text{ Nmm}$$

Presjek 4-4

$$M_{\text{red},4} = \sqrt{(175,5 * 2,29)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,84)^2} = 16417,8 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_6/d_7):

$$\beta_{kf,4} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,86(2,5 - 1) = 2,29$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{16} = 0,03125; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 2,5$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{25,5}{16} = 1,6\right) \rightarrow c_1 = 0,86$$

$$\beta_{kt,4} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 1(1,84 - 1) = 1,84$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{16} = 0,03125; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 1,84$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{25,5}{16} = 1,6\right) \rightarrow c_2 = 1$$

Presjek 5-5

$$M_{\text{red},5} = \sqrt{(202,5 * 3,14)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,84)^2} = 16425,2 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_7/d_5):

$$\beta_{kf,5} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 1,34(2,6 - 1) = 3,14$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{19} = 0,0263; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 2,6$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{25,5}{19} = 1,34\right) \rightarrow c_1 = 1,34$$

$$\beta_{kt,5} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,98(1,8 - 1) = 1,84$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{19} = 0,0263; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 1,78$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{25,5}{19} = 1,34\right) \rightarrow c_2 = 0,98$$

Presjek 6-6

$$M_{\text{red},6} = \sqrt{(220,3 * 2,1)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,0)^2} = 17846,1 \text{ Nmm}$$

U presjeku 6-6 imamo dva fleksijska i dva torzijska faktora zarezno djelovanja (označeni s (a) i (b)). Slučaj (a)- uslijed smanjenja promjera. Slučaj (b)- zbog utora za pero. Relevantni su oni koeficijenti koji najviše utječu, odnosno povećavaju reducirani moment (opterećenje) u datom presjeku.

Faktori zarezno djelovanja uslijed promjene presjeka (d_3/d_4):

$$\beta_{kf,6a} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 0,86(2,5 - 1) = 2,29$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0143; i R_m = 1000 \frac{N}{mm^2}\right) = 2,7$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{42}{35} = 1,2\right) \rightarrow c_1 = 1,2$$

$$\beta_{kt,6a} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 1(1,84 - 1) = 1,84$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0143; i R_m = 1000 \frac{N}{mm^2}\right) = 1,8$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{42}{35} = 1,2\right) \rightarrow c_2 = 1,2$$

Faktori zarezno djelovanja zbog pera 6P9:

$$\beta_{kf,b} = 2,1$$

$$\beta_{kt,b} = 2,0$$

Prva kombinacija faktora ($\beta_{kf,6a}$ i $\beta_{kt,6a}$) ukoliko se uvrste u jednadžbu (2), daju vrijednost reduciranog momenta $M_{red,6a} = 16064,03$ Nmm; dok u slučaju (b), kada se uvrste vrijednosti ($\beta_{kf,6b}$ i $\beta_{kt,6b}$) imamo $M_{red,6b} = 17846,1$ Nmm. Što znači da je kritično mjesto u presjeku određeno zarezno djelovanjem pera.

Presjek 7-7

$$M_{red,7} = \sqrt{(293,2 * 2,3)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 2,0)^2} = 17852,9 \text{ Nmm}$$

Faktori zarezno djelovanja uslijed utora za pero 6P9:

$$\beta_{kf,7} = 2,3; \beta_{kt,7} = 2,0$$

Kontrola presjeka:

Potrebna sigurnost pri naizmjeničnom naprezanju:

$$S_{potr} = f(TP = 100\%, h_{b \max} = 50\%) = 2,0$$

Faktor udara za pogonske uvjete:

$$\varphi = 1,1$$

Presjek 1-1

$$S_{\text{post},1} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f1} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,88 \cdot 0,95}{3,82 \cdot 1,1} = 99,5 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f1} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{32 \cdot M_{\text{red1}}}{d_1^3 \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 16056,2}{35^3 \cdot \pi} = 3,82 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_1) = f(35) = 0,88, \text{ faktor veličine}$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 0,95, \text{ faktor kvalitete površine}$$

Presjek 2-2

$$S_{\text{post},2} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f2} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,84 \cdot 1}{2,26 \cdot 1,1} = 168,95 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{32 \cdot M_{\text{red2}}}{d_3^3 \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 16413,8}{42^3 \cdot \pi} = 2,26 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(42) = 0,84$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 3-3

$$S_{\text{post},3} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f3} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,84 \cdot 1}{1,25 \cdot 1,1} = 305,5 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f3} = \frac{M_3}{W_3} = \frac{32 \cdot d_3 \cdot M_{\text{red3}}}{(d_3^4 - d_6^4) \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 42 \cdot 8921,5}{(42^4 - 16^4) \cdot \pi} = 1,25 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(42) = 0,84$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 4-4

$$S_{\text{post},4} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f4} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,84 \cdot 1}{2,61 \cdot 1,1} = 146,3 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f4} = \frac{M_4}{W_4} = \frac{32 \cdot d_3 \cdot M_{\text{red4}}}{(d_3^4 - d_7^4) \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 42 \cdot 16417,8}{(42^4 - 25,5^4) \cdot \pi} = 2,61 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(42) = 0,84$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 5-5

$$S_{\text{post},5} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f5} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,84 \cdot 1}{2,36 \cdot 1,1} = 161,8 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f5} = \frac{M_5}{W_5} = \frac{32 \cdot d_3 \cdot M_{\text{red}5}}{(d_3^4 - d_5^4) \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 42 \cdot 16425,2}{(42^4 - 19^4) \cdot \pi} = 2,36 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(42) = 0,84$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 6-6

$$S_{\text{post},6} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f6} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,84 \cdot 1}{4,74 \cdot 1,1} = 80,6 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f6} = \frac{M_6}{W_6} = \frac{32 \cdot d_3 \cdot M_{\text{red}6}}{(d_3^4 - d_4^4) \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 42 \cdot 17846,1}{(42^4 - 35^4) \cdot \pi} = 4,74 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(42) = 0,84$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 7-7

$$S_{\text{post},7} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f7} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,88 \cdot 1}{4,65 \cdot 1,1} = 82,11 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

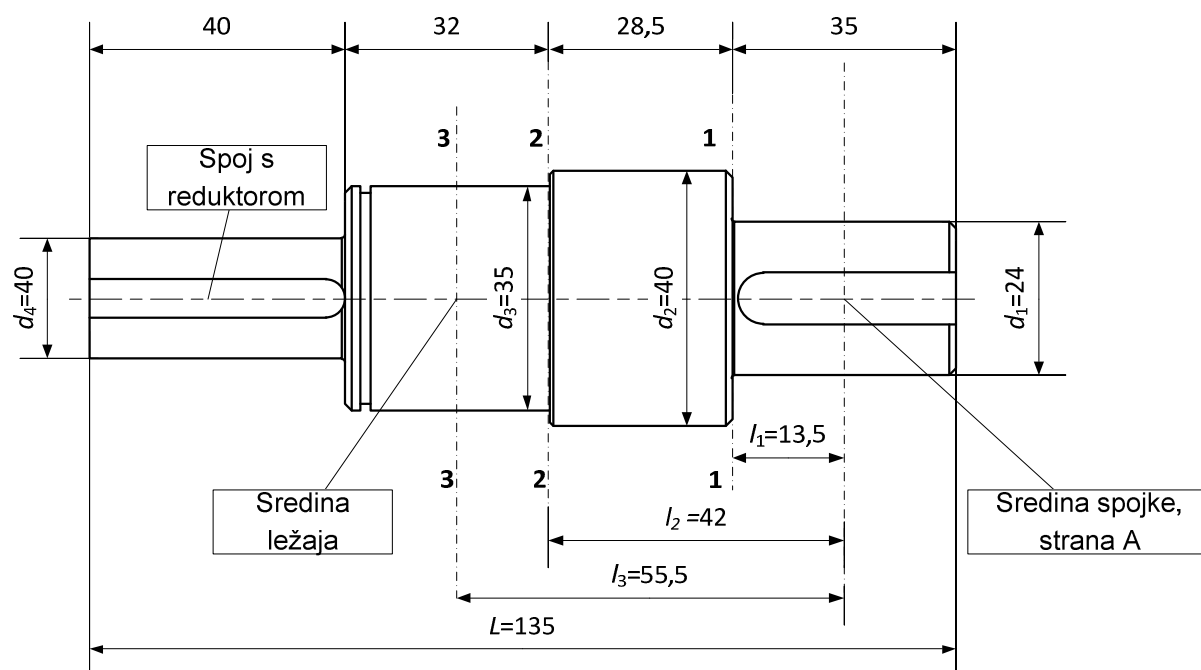
$$\sigma_{f7} = \frac{M_7}{W_7} = \frac{32 \cdot d_4 \cdot M_{\text{red}7}}{(d_4^4 - d_5^4) \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 35 \cdot 17852,9}{(35^4 - 19^4) \cdot \pi} = 4,65 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_4) = f(35) = 0,88$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Postojeće sigurnosti u svim karakterističnim presjecima zadovoljavaju.

2.4. VRATILO - REDUKTOR

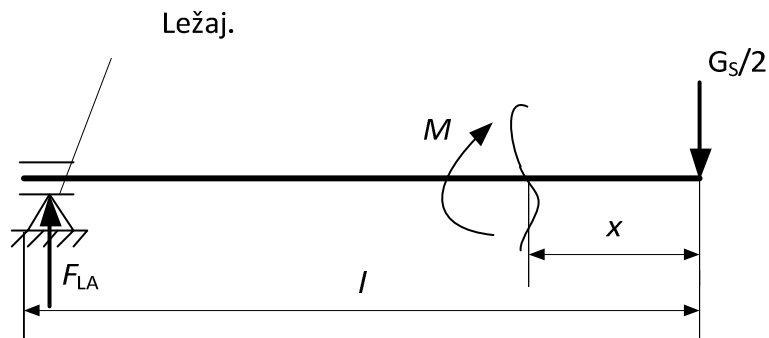


Slika 33. Dispozicija "vratila reduktora"

Kao i u slučaju "vratila elektromotora", i ovdje su dimenzije vratila određene prema odabranom ležaju i prema priključnim mjerama definiranim odabranom spojkom i odabranim reduktorom. Karakteristični presjeci i potrebne dimenzije za proračun prikazani su na slici 32.

Sile koje opterećuju vratilo- reduktor:

Kao i u slučaju vratila elektromotora, nema horizontalnih komponenti sila. Vratilo je opterećeno okretnim momentom T i momentima savijanja uslijed težine polovice spojke. Aksijalna sila uslijed čeonog ozubljenja izračunata je u poglavlju prije.



Slika 34. Određivanje momenta savijanja- "vratilo reduktor".

Momente savijanja u karakterističnim presjecima računamo prema jednadžbi (1)

$$M_1 = \frac{G_S}{2} l_1 = 5,4 * 13,5 = 72,9 \text{ Nmm}$$

$$M_2 = \frac{G_S}{2} l_2 = 5,4 * 42 = 226,8 \text{ Nmm}$$

$$M_3 = \frac{G_S}{2} l_3 = 5,4 * 55,5 = 299,7 \text{ Nmm}$$

Odabrani materijal vratila spojke je isti, 42CrMo4 (Č4732.4), kao i odabrana sigurnost $S = 2,5$. Prema tome, ista su i dopuštena naprezanja kao i faktor čvrstoće materijala.

Vratilo je opterećeno i uvojno, te prema (2) računamo reducirane momente u karakterističnim presjecima.

Reducirani momenti u karakterističnim presjecima vratila:

Presjek 1-1

$$M_{\text{red},1} = \sqrt{(72,9 * 4,49)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,9)^2} = 16951,3 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_1/d_2):

$$\beta_{kf,1} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 1,66(3,1 - 1) = 4,49$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{24} = 0,021; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 3,1$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{40}{24} = 1,66\right) \rightarrow c_1 = 1,66$$

$$\beta_{kt,1} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 1(1,9 - 1) = 1,9$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{24} = 0,021; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 1,9$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{40}{24} = 1,66\right) \rightarrow c_2 = 1$$

Presjek 2-2

$$M_{\text{red},2} = \sqrt{(226,8 * 3,51)^2 + 0,75(1,03 * 10000 * 1,75)^2} = 15630,4 \text{ Nmm}$$

Faktori zareznog djelovanja uslijed promjene presjeka (d_2/d_3):

$$\beta_{kf,2} = 1 + c_1(\beta_{kf2} - 1) = 1 + 1,14(3,2 - 1) = 3,51$$

$$\beta_{kf2} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0143; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 3,2$$

$$c_1 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{40}{35} = 1,14\right) \rightarrow c_1 = 1,14$$

$$\beta_{kt,2} = 1 + c_2(\beta_{kt1,4} - 1) = 1 + 0,68(2,1 - 1) = 1,75$$

$$\beta_{kt1,4} = f\left(\frac{\rho}{d} = \frac{0,5}{35} = 0,0143; i R_m = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) = 2,1$$

$$c_2 = f\left(\frac{D}{d} = \frac{40}{35} = 1,14\right) \rightarrow c_2 = 0,68$$

Presjek 3-3

$$M_{\text{red},3} = \sqrt{(299,7)^2 + 0,75(1,03 * 10000)^2} = 8925,1 \text{ Nmm}$$

Kontrola presjeka:Presjek 1-1

$$S_{\text{post},1} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f1} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,94 \cdot 1}{12,5 \cdot 1,1} = 34,2 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f1} = \frac{M_1}{W_1} = \frac{32 \cdot M_{\text{red}1}}{d_1^3 \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 16951,3}{24^3 \cdot \pi} = 12,5 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_1) = f(24) = 0,94, \text{ faktor veličine}$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1, \text{ faktor kvalitete površine}$$

Presjek 2-2

$$S_{\text{post},2} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f2} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,88 \cdot 1}{3,72 \cdot 1,1} = 107,5 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f2} = \frac{M_2}{W_2} = \frac{32 \cdot M_{\text{red}2}}{d_3^3 \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 15630,4}{35^3 \cdot \pi} = 3,72 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(35) = 0,88$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Presjek 3-3

$$S_{\text{post},3} = \frac{\sigma_{fDN} \cdot b_1 \cdot b_2}{\sigma_{f3} \cdot \varphi} = \frac{500 \cdot 0,88 \cdot 1}{2,12 \cdot 1,1} = 188,7 \geq S_{\text{potr}} = 2,0$$

$$\sigma_{f3} = \frac{M_3}{W_3} = \frac{32 \cdot M_{\text{red}3}}{d_3^4 \cdot \pi} = \frac{32 \cdot 8925,1}{35^4 \cdot \pi} = 2,12 \text{ N/mm}^2$$

$$b_1 = f(d_3) = f(35) = 0,88$$

$$b_2 = f(R_m, R_a - R_{\text{max}}) = 1$$

Postojeće sigurnosti u svim karakterističnim presjecima zadovoljavaju.

2.5. PERA

Vratilo-elektromotor; pero dimenzija $b \times h \times l$ (6 x 6 x 35), veza “vratila elektromotora“ i elektromotora.

Prema [4], proračun se vrši obzirom na dozvoljeni pritisak p .

$$p \cong \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{1052,6}{0,5 \cdot 6 \cdot 35} = 10,02 \text{ N/mm}^2, \rightarrow \text{zadovoljava}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{d} = \frac{2 \cdot 10}{0,019} = 1052,6 \text{ N}$$

Za najnepovoljniji slučaj opterećenja dopušteni pritisak iznosi; $p_{\text{dop}} = 35 \text{ N/mm}^2$, što zadovoljava.

Vratilo-reduktor; pero dimenzija $b \times h \times l$ (8 x 7 x 35), veza “vratila reduktora“ i spojke (strana B).

$$p \cong \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{833,3}{0,5 \cdot 7 \cdot 35} = 6,8 \text{ N/mm}^2, \rightarrow \text{zadovoljava.}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{d} = \frac{2 \cdot 10}{0,024} = 833,3 \text{ N}$$

Vratilo-reduktor; pero dimenzija $b \times h \times l$ (6 x 6 x 40), veza “vratila reduktora“ i reduktora.

$$p \cong \frac{F_t}{0,5 \cdot h \cdot l_t \cdot i} = \frac{1052,6}{0,5 \cdot 6 \cdot 40} = 8,77 \text{ N/mm}^2, \rightarrow \text{zadovoljava.}$$

$$F_t = \frac{2 \cdot T}{d} = \frac{2 \cdot 10}{0,019} = 1052,6 \text{ N}$$

2.6. LEŽAJEVI

Prema slikama 31 i 33, postavljajući jednadžbu ravnoteže sila $\Sigma F_V = 0$, proizlazi da su reakcije u osloncima ležaja jednake težini polovice spojke:

$$F_{LA} = F_{LB} = F_L = \frac{G_S}{2} = 5,4 \text{ N}$$

Aksijalna sila koju moraju preuzeti ležajevi, posljedica je čeonog Hirth-ovog ozubljenja spojke i iznosi $F_{\text{aksial}} = 114 \text{ N}$.

Prema [7], pri kombiniranom opterećenju ležaja (radijalno i aksijalno) razlikujemo ekvivalentno statičko i ekvivalentno dinamičko opterećenje. Pri računanju ekvivalentnog opterećenja koristimo se dinamičkim i statičkim proračunskim faktorima. Za dvoredne kuglične ležajeve razlikujemo:

- proračun dinamičkog ekvivalentnog opterećenja:
 - za $\frac{F_a}{F_r} \leq e$, din.ekv.opterećenje računamo prema; $P = F_r + Y_1 \cdot F_a$
 - za $\frac{F_a}{F_r} > e$, din.ekv.opterećenje računamo prema $P = X \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a$
- proračun statičkog ekvivalentnog opterećenja:
 - $P = F_r + Y_0 \cdot F_a$

Proračunski faktori; Y_0 , Y_1 , Y_2 i X ovise o kutovima dodira kotrljajućeg tijela i propisani su od proizvođača. Proračunske faktore za odabrani ležaj, kao i ostale specifikacije prikazuje slika 35.

Slijedi :

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{F_{\text{aksial}}}{F_L} = \frac{144}{5,4} = 29,7 > e(0,8) \rightarrow P = X \cdot F_r + Y_2 \cdot F_a = 0,63 \cdot 5,4 + 1,24 \cdot 144 = 181,96 \text{ N}$$

Prema [7], proračun vijeka trajanja ležaja računamo prema:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left(\frac{C}{P} \right)^\epsilon, \quad (3)$$

Principal dimensions			Basic load ratings		Speed ratings		Designation
d	D	B	dynamic C	static C ₀	Reference speed	Limiting speed	
mm			kN		r/min		-
35	72	27	40	28	-	6300	3207 A-2RS1/MT33 *

Calculation factors
 K_r 0,06
 e 0,8
 X 0,63
 Y_1 0,78
 Y_2 1,24
 Y_0 0,66

Slika 35. Specifikacije ležaja 3207 2RS

Prema jednadžbi (3), slijedi vijek trajanja ležaja za dato ekvivalentno opterećenje ležaja P :

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot 1500} \left(\frac{40}{0,18196} \right)^3 > 1000000 \text{ sati}, \text{ što je daleko više od uobičajenog vijeka trajanja ležaja } (L_{10h,\min}) \text{ s obzirom na vrstu pogona. Razlog tome je mala opterećenost ležaja koja utječe na vijek trajanja.}$$

Željeni minimalni vijek trajanja ležaja uzet je okvirno 5 god, kad se planira zamjena istih i servis pogona. Prema tome, minimalni vijek trajanja ležaja izražen u satima bi iznosio cca 14600 radnih sati (ukoliko se pretpostavi da ležaj radi 8h dnevno i 365 dana u godini). Što znači da s obzirom na željeni vijek trajanja i narinuto opterećenje ležajeva, odabrani ležajevi 3207.2RS zadovoljavaju, što više- prema narinutom opterećenju su višestruko predimenzionirani, što se vidi iz usporedbe dinamičke nosivosti ležaja.

Stvarnu dinamičku opterećenost ležaja, označimo ju s C_1 , računamo prema:

$$C_1 = \left(\frac{L_{10h,\min} \cdot 60 \cdot n}{10^6} \right)^{\frac{1}{\epsilon}} \cdot P = \left(\frac{14600 \cdot 60 \cdot 1500}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,18196 = 19,78 \text{ kN}, \text{ što je manje od}$$

$$C = 40 \text{ kN}.$$

Željeni vijek trajanja ležaja od 5 godina, u predviđenim eksploatacijskim uvjetima rada, obzirom na režim rada (interminirajući pogon, 15 uključivanja spojke u maksimalnom

trajanju rada od 2 minute). Što znači da je izneseni broj radnih sati prema željenom vijeku trajanja od 14600 još manji, što više jednak je polovici tog iznosa.

Prema tome, stvarno očekivana dinamička opterećenost u opisanim eksploatacijskim uvjetima iznosi:

$$C_{1,\text{realno}} = \left(\frac{7300 \cdot 60 \cdot 1500}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot 0,18196 = 1,58 \approx 1,6 \text{ kN}$$

Iz čega se vidi da je odabrani ležaj obzirom na opterećenje ekstremno predimenzioniran. Razlog tome su konstrukcijski zahtjevi na temelju kojih je izvršen odabir ležaja. S jedne strane to su priključne mjere vratila elektromotora i zupčaničkog reduktora na koje se veže pripadajuće vratilo, dok s druge strane, to su konstrukcijski razlozi propisani normom HRN IEC/EN 60079-1:2008 (zaštita oklapanjem 'd'), a odnose se na minimalnu duljinu vatrostaze.

3. DOKUMENTI PREMA EX- AGENCIJI

3.1. PRORAČUN VIJAKA

3.1.1. Vijčani spoj poklopaca i kućišta

Za spajanje poklopaca; pozicija (9, 10 i 11) s kućištem, pozicija (1), koriste se vijci M8x20-8.8 DIN 912, pozicija (27).

Na svim bočnim stranicama kućišta spojke, a koje se zatvaraju poklopcima, nalaze se otvori 76,5x65 s radijusom u kutovima R5+1 mm. Na taj način, površina poklopca izložena unutrašnjem pretlaku približno iznosi:

$$A \approx 77 \cdot 65 = 5005 \text{ mm}^2$$

Sila na površinu poklopca, pri ispitnom tlaku od $p = 7$ bar, iznosi:

$$F_{\text{tlaka}} = p \cdot A = 7 \cdot 10^5 \cdot 5005 \cdot 10^{-6} \approx 3504 \text{ N}$$

Svaki poklopac je pričvršćen s ukupno 6 vijaka, tako da se sila tlaka na poklopac/poklopce dijeli s 6. Svaki vijak preuzima silu od:

$$F_{\text{vijka}} = \frac{F_{\text{tlaka}}}{6} = \frac{3504}{6} = 584 \text{ N}$$

Dopušteno naprezanje za vijak M8-8.8, uz odabrani faktor sigurnosti $S=2,0$ i minimalnu granicu tečenja, za vijak čvrstoće 8.8, iznosi:

$$\sigma_{f,\text{dop}} = \frac{\sigma_T}{S}, \rightarrow \sigma_{f,\text{dop}} = \frac{640}{2} = 320 \text{ N/mm}^2,$$

Gdje je:

σ_T - minimalna granica tečenja, (prema [4], tablica 2.3, str 113)

Vijak je izložen naprezanju od :

$$\sigma = \frac{F_{\text{vijka}}}{A_{\text{vijka}}}, \rightarrow \sigma = \frac{4 \cdot F_{\text{vijka}}}{d_2^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 584}{7,35^2 \cdot \pi} = 13,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{f,\text{dop}} (320 \text{ N/mm}^2)$$

Gdje je:

A_{vijka} - presjek vijka preko kojeg se prenosi naprezanje

d_2 - srednji promjer navoja vijka

Što daje postojeću sigurnost od; $S_{\text{post}} = \frac{\sigma_{f,\text{dop}}}{\sigma} = \frac{320}{13,8} \approx 23$, iz čega se vidi da su vijci

predimenzionirani za tlak eksplozije od 7 bar.

3.1.2. Vijčani spoj kućišta i prirubnice elektromotora

Za spajanje prirubnice elektromotora, pozicija (2), na kućište spojke, pozicija (1), koriste se vijci M5x25-10.9 DIN 912, pozicija (25).

Prirubnica je spojena s ukupno 12 vijaka. Površina prirubnice izložena unutrašnjosti kućišta (djelovanju tlaka):

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{145^2 \cdot \pi}{4} = 16505 \text{ mm}^2, \text{ prema već izloženom postupku, određuje se:}$$

Sila tlaka:

$$F_{\text{tlaka}} = p \cdot A = 7 \cdot 10^5 \cdot 16505 \cdot 10^{-6} \approx 11554 \text{ N}$$

Sila na vijak:

$$F_{\text{vijka}} = \frac{F_{\text{tlaka}}}{12} = \frac{11554}{12} \approx 963 \text{ N}$$

Dopušteno naprezanje za vijak čvrstoće 10.9:

$$\sigma_{f,\text{dop}} = \frac{\sigma_T}{S}, \rightarrow \sigma_{f,\text{dop}} = \frac{900}{2} = 450 \text{ N/mm}^2$$

Naprezanje u vijku:

$$\sigma = \frac{F_{\text{vijka}}}{A_{\text{vijka}}}, \rightarrow \sigma = \frac{4 \cdot F_{\text{vijka}}}{d_2^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 963}{4,48^2 \cdot \pi} = 61,1 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{f,\text{dop}} (450 \text{ N/mm}^2)$$

Postojeća sigurnost:

$$S_{\text{post}} = \frac{\sigma_{f,\text{dop}}}{\sigma} = \frac{450}{61,1} \approx 7,4$$

3.1.3. Vijčani spoj kućišta i nosača ležaja- reduktor

Za spajanje nosača ležaja- reduktor, pozicija (3), na kućište spojke, pozicija (1), koriste se vijci M6x16-8.8 DIN912, pozicija (33). Nosač ležaja se dodatno učvršćuje preko pritiskača ležaja-2, pozicija (5), koji ostvaruje vezu s kućištem, pozicija (1), preko vijaka M6x25-8.8 DIN912, pozicija (35).

Nosač ležaja- reduktor, spojen je s 3 vijka M6x16 direktno na kućište i nalazi se u steznom spoju između pritiskača ležaja-2 i kućišta. Pritiskač ležaja-2, spojen je s kućitem preko 6 vijaka M6x25.

Ukoliko se pretpostavi najgori mogući slučaj, a taj je da drže samo 3 vijka (M6x16); prema izloženom postupku provjerava se stvarno i dopušteno naprezanje vijaka.

Površina izložena unutrašnjem tlaku eksplozije:

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} = \frac{85^2 \cdot \pi}{4} \approx 5675 \text{ mm}^2$$

Sila tlaka:

$$F_{\text{tlaka}} = p \cdot A = 7 \cdot 10^5 \cdot 5675 \cdot 10^{-6} \approx 3973 \text{ N}$$

Sila na vijak:

$$F_{\text{vijka}} = \frac{F_{\text{tlaka}}}{3} = \frac{3973}{3} \approx 1324 \text{ N}$$

Dopušteno naprezanje za vijak čvrstoće 8.8:

$$\sigma_{f,\text{dop}} = \frac{\sigma_T}{S}, \rightarrow \sigma_{f,\text{dop}} = \frac{640}{2} = 320 \text{ N/mm}^2$$

Naprezanje u vijku:

$$\sigma = \frac{F_{\text{vijka}}}{A_{\text{vijka}}}, \rightarrow \sigma = \frac{4 \cdot F_{\text{vijka}}}{d_2^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 1324}{5,35^2 \cdot \pi} = 58,9 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{f,\text{dop}} (320 \text{ N/mm}^2)$$

Postojeća sigurnost:

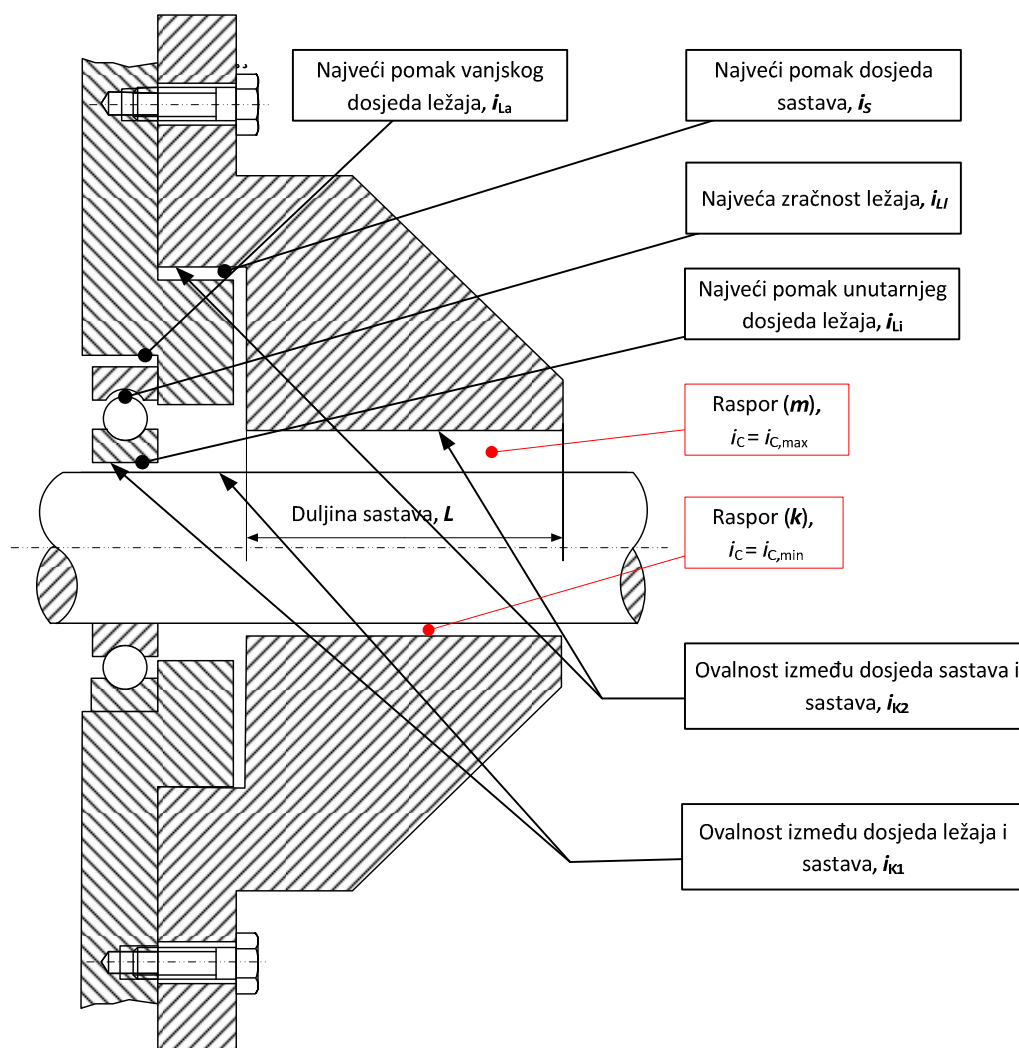
$$S_{\text{post}} = \frac{\sigma_{f,\text{dop}}}{\sigma} = \frac{320}{58,9} \approx 5,4$$

Kontrola naprezanja u vijčanim spojevima za pritiskač ležaja-1, pozicija (4), kao i za pritiskač ležaja-2, pozicija (5), s kućištem, pozicija (1) se ne provodi iz razloga što je do sadašnja analiza pokazala da vijčani spojevi izdržavaju narinuti tlak eksplozije od 7 bar.

Spomenuti dijelovi, pritiskači ležajeva 1 & 2 nisu direktno izloženi unutrašnjem tlaku u kućištu, već posredno preko priрубnice elektromotora, odnosno preko nosača ležaja reduktora, gdje je analiza pokazala da vijčani spojevi izdržavaju unutarnji tlak eksplozije.

3.2. PRORAČUN ZRAČNOSTI

Postupak proračuna zračnosti u svrhu određivanja najmanje radijalne zračnosti k i najveće radijalne zračnosti m , prikazanih na slici 25, provodi se prema zahtjevima koji se postavljaju obzirom na razred zapaljivih plinova, u ovom slučaju IIA, a definirani su u tablici 16, odnosno tablici 10 i 11. Na slici 35, prikazane su potrebne proračunske zračnosti.



Slika 36. Prikaz proračunskih zračnosti.

Proračun se vrši na način da se odredi najveći i najmanji mogući raspor na temelju definiranih tolerancija strojnih dijelova koji su dio zaštitnog-ih sastava. Ukupnu zračnost računamo prema:

$$i_{\text{ukupno}} = i_{La} + i_{Li} + i_S + i_{Ll} + i_{K1} + i_{K2},$$

Minimalnu radijalnu zračnost računamo prema;

$$k = \frac{i_{C,\min} - i_{\text{ukupno}}}{2}, \rightarrow k \geq 0,05$$

Maksimalnu radijalnu zračnost računamo prema:

$$m = \frac{i_{C,\max} + i_{\text{ukupno}}}{2}, \rightarrow m \leq \frac{2}{3} i_T,$$

Svrha proračuna je jednoznačno odrediti najmanju i najveću radijalnu zračnost kod osovina i ležajeva elektromotora izvedenih u vrsti zaštite 'd'. Proračun je namijenjen kao osnova za provjeru proračuna koji prezentira proizvođač opreme.

Proračun je prikazan tablično, za oba ležajna mjesta:

Tablica 17. Proračun max. i min. radijalne zračnosti; izlazna strana spojke (Vratilo Ø19j6)

IZLAZNA STRANA SPOJKE Vratilo Ø19j6		PROMJER TOLERANCIJE				max. zračnost
		min/max				
Zračnost između ležajnog štita i vanjskog dijela ležaja ¹⁾	i_{La}	Ø71,989/ Ø72,015				0,026
Zračnost između unutarnjeg dijela ležaja i osovine ²⁾	i_{Li}	0/0			+	0,000
Zračnost između ležajnog štita i zaštitnog komada ³⁾	i_S	Ø85,003/ Ø85,035			+	0,032
		max	min	max/min		
Zračnost između kuglice i ležaja ⁴⁾	i_{Li}	0,020	0,060	0,020/0,060	+	0,060
Ovalnost: dosjed ležaja-sastav ⁵⁾	i_{K1}	0,020			+	0,020
Koncentričnost: dosjed sastava- sastav ⁶⁾	i_{K2}	0,020			+	0,020
SUMA ZRAČNOSTI		i_{ukupno}			=	0,158

		$i_{C,max}$		i_{ukupno}		$\frac{2}{3}i_T$
$m=$	(	0,350 ⁷⁾	+	0,158	)/ 2	\leq 0,4
		$i_{C,min}$ ⁸⁾		i_{ukupno}		
$k=$	(	0,300	+	0,158	)/ 2	\geq 0,05

Dopuštena vrijednost raspora, prema tablici 10, za skupinu plinova IIA i duljinu vatrostaze $L = 25$ mm, iznosi $i_T = 0,6$ mm.

Iz tablice 17 (proračun), vrijednost maksimalne radijalne zračnosti iznosi;

$$m = \frac{0,350 + 0,158}{2} = 0,270 \leq 0,4 \text{ i zadovoljava uvjet } m \leq \frac{2}{3}i_T$$

Uvjet za minimalnu radijalnu zračnost k , također je zadovoljen.

$$k = \frac{0,300 - 0,158}{2} = 0,071 \geq 0,050$$

Pojašnjenje veličina u proračunskoj tablici:

- 1) Zračnost između ležajnog štita i vanjskog dijela ležaja (vanjski prsten ležaja i provrt u nosaču ležaja-reduktor)

- Vanjski promjer ležaja $\phi 72 \begin{smallmatrix} +0,000 \\ -0,011 \end{smallmatrix}$
- Provrt za ležaj u nosaču reduktora; $\phi 72JS7$; \rightarrow TOL $\begin{smallmatrix} +0,015 \\ -0,015 \end{smallmatrix}$
- Maksimalna zračnost: $i_{La} = 0,026$

Kako se prilikom izrade strojnih dijelova teži da konačna nazivna mjera ima dimenziju koja odgovara srednjoj vrijednosti tolerancijskog polja, za očekivati da je da će konačna dimenzija ležaja biti $\phi 71,9945$, a provrta u nosaču reduktora $\phi 72$, što znači da se realno može očekivati zračnost od $5,5\mu\text{m}$, što dosjed čini labavim, iako je obzirom na tolerancijska polja ležaja i provrta, dosjed po definiciji prijelazni.

U nastavku, iznose se dvije veličine; maksimalna teoretska zračnost- potrebna za proračun i realno očekivana zračnost/prisnost na temelju srednjih vrijednosti tolerancijskih polja dosjednih strojnih dijelova.

2) Zračnost između unutarnjeg dijela ležaja i osovine (rukavac osovine i unutarnji prsten ležaja)

- Unutarnji promjer ležaja: $\phi 35^{+0,000}_{-0,010}$
- Promjer rukavca osovine: $\phi 35k6$; \rightarrow TOL $^{+0,018}_{+0,002}$
 - Maksimalna zračnost: $i_{Li} = 0,000$
 - Realno očekivan preklap (prisnost) od 0,013

3) Zračnost između ležajnog štita i zaštitnog komada (dosjed između nosača ležaja-reduktor i provrta u kućištu)

- Unutarnji promjer provrta kućišta: $\phi 85H7$; \rightarrow TOL $^{+0,035}_{-0,000}$
- Vanjski promjer nosača ležaja- reduktor: $\phi 85k6$; \rightarrow TOL $^{+0,025}_{+0,003}$
 - Maksimalna zračnost: $i_s = 0,032$
 - Realno očekivana zračnost: zračnost od 0,0065

4) Zračnost između kuglica i prstena ležaja:

- Propisana od strane proizvođača- izvedba ležaja u standardnoj zračnosti valjnih, kotrljajućih tijela $C_{0,min} = 0,020$; $C_{0,max} = 0,060$
 - Maksimalna zračnost: $i_{Li} = 0,060$
 - Realno očekivana zračnost: 0,040

5) Ovalnost: dosjed ležaja i sastava na osovini (nosač ležaja- reduktor):

- Prema radioničkoj dokumentaciji:

$$i_{K1} = 0,020$$

6) Koncentričnost: dosjed sastava-sastav

- Prema radioničkoj dokumentaciji:

$$i_{K2} = 0,020$$

7) Prema radioničkoj dokumentaciji

- $i_{C,max} = (40,3 + 0,025) - (40 - 0,025) = 0,35$

8) Prema radioničkoj dokumentaciji:

$$\bullet \quad i_{C,\min} = (40,3 - 0,000) - (40 + 0,000) = 0,3$$

Tablica 18. Proračun max. i min. radijalne zračnosti; izlazna strana spojke (Vratilo Ø19H7)

IZLAZNA STRANA SPOJKE Vratilo Ø19H7		PROMJER TOLERANCIJE				max. zračnost
		min/max				
Zračnost između ležajnog štita i vanjskog dijela ležaja ⁹⁾	i_{La}	Ø71,989/ Ø72,015				0,026
Zračnost između unutarnjeg dijela ležaja i osovine ¹⁰⁾	i_{Li}	0/0			+	0,000
Zračnost između ležajnog štita i zaštitnog komada ¹¹⁾	i_S	Ø145,003/ Ø145,040			+	0,037
		max	min	max/min		
Zračnost između kuglice i ležaja ¹²⁾	i_{Li}	0,020	0,006	0,020/0,0006	+	0,060
Ovalnost: dosjed ležaja-sastav ¹³⁾	i_{K1}	0,020			+	0,020
Koncentričnost: dosjed sastava- sastav ¹⁴⁾	i_{K2}	0,020			+	0,020
	SUMA ZRAČNOSTI		i_{ukupno}		=	0,163
		$i_{C,\max}$		i_{ukupno}		$\frac{2}{3}i_T$
$m=$	(	0,35 ¹⁵⁾	+	0,163	)/ 2	\leq 0,4
		$i_{C,\min}$ ¹⁶⁾		i_{ukupno}		
$k=$	(	0,300	+	0,163	)/ 2	\geq 0,05

Uvjeti za maksimalnu i radijalnu zračnost su zadovoljeni;

$$m = \frac{0,350 + 0,163}{2} = 0,257 \leq 0,4 \text{ i zadovoljava uvjet } m \leq \frac{2}{3}i_T$$

$$k = \frac{0,300 - 0,163}{2} = 0,069 \geq 0,050$$

Pojašnjenje veličina korištenih u proračunskoj tablici 18:

9) Zračnost između ležajnog štita i vanjskog dijela ležaja (vanjski prsten ležaja i provrt u nosaču ležaja-reduktor)

- Vanjski promjer ležaja $\phi 72^{+0,000}_{-0,011}$
- Provrt za ležaj u nosaču reduktora; $\phi 72JS7$; $\rightarrow TOL^{+0,015}_{-0,015}$
- Maksimalna zračnost: $i_{La} = 0,026$

10) Zračnost između unutarnjeg dijela ležaja i osovine (rukavac osovine i unutarnji prsten ležaja)

- Unutarnji promjer ležaja: $\phi 35^{+0,000}_{-0,010}$
- Promjer rukavca osovine: $\phi 35k6$; $\rightarrow TOL^{+0,018}_{+0,002}$
- Maksimalna zračnost: $i_{Li} = 0,000$
- Realno očekivan preklap (prisnost) od 0,013

11) Zračnost između ležajnog štita i zaštitnog komada (dosjed između prirubnice elektromotora i provrta u kućištu)

- Unutarnji promjer provrta kućišta: $\phi 145H7$; $\rightarrow TOL^{+0,040}_{-0,000}$
- Vanjski promjer prirubnice elektromotora: $\phi 145k6$; $\rightarrow TOL^{+0,028}_{+0,003}$
- Maksimalna zračnost: $i_s = 0,037$
- Realno očekivana zračnost: zračnost od 0,0075

12) Zračnost između kuglica i prstena ležaja:

- Propisana od strane proizvođača- izvedba ležaja u standardnoj zračnosti valjnih, kotrljajućih tijela $C_{0,min} = 0,020$; $C_{0,max} = 0,060$
- Maksimalna zračnost: $i_{Li} = 0,060$
- Realno očekivana zračnost: 0,040

13) Ovalnost: dosjed ležaja i sastava na osovini (nosač ležaja- reduktor):

- Prema crtežu: $i_{K1} = 0,020$

14) Koncentričnost: dosjed sastava-sastav

- Prema radioničkoj dokumentaciji: $i_{K2} = 0,020$

15) Prema radioničkoj dokumentaciji:

- $i_{C,max} = (42,3 + 0,025) - (42 - 0,025) = 0,35$

16) Prema radioničkoj dokumentaciji:

- $i_{C,min} = (42,3 - 0,000) - (42 + 0,000) = 0,3$

3.3. TEHNIČKI OPIS

3.3.1. Uvod

Osnovna namjena elektromagnetske spojke je uključivanje-isključivanje pogona okretanja pomičnih stepenica, kojima se dolazi na palubi tankera pri iskrcaju nafte. Kada se stepenice podignu podupiračem tj. pogonom za promjenu nagiba stepenica ili sustavom za podizanje s nosača, gdje su oslonjene kada nisu u uporabi, sustav zaštite (prekidač) na pomičnim ljestvama dopušta uključenje spojke s čeonim ozubljenjem EZB 10 T – Stromag.

Na taj se način ostvaruje spajanje pogona- vratila pogonskog elektromotora s zupčaničkim reduktorom.

Uključenjem pogonskog elektromotora omogućava se traženo zakretanje pomičnih stepenica oko vertikalne osi na traženu kutnu poziciju. Kada se kotači koji se nalaze na vrhu pokretnih stepenica oslone na palubu broda, pogon se isključi i spojka je u isključenom stanju.

Isključenje spojke je obavezno jer se pri iskrcaju nafte iz broda mijenja gaz broda. Osim gaza, uslijed pražnjenja tankova, brod se i uzdužno pomiče

Kako se pomicanje ne bi prenosilo na stepenice ugrađeni su okretni kotači koji omogućavaju pomake broda u odnosu na stepenice. Ukoliko se kotači blokiraju ili dođe do zapinjanja istih, pogon koji je zakočen elektromotorom se isključuje.

3.3.2. Tehnički opis izvedbe

Osnovu elektromagnetske spojke, broj crteža MB-100-000, čini elektromagnetska uključno-isključna spojka s čeonim Hirth-ovim ozubljenjem. Tip spojke EZB 10T- Stromag, pozicija 18. Spojka ima slijedeće karakteristike:

- Prenosivi okretni moment: $T_{\text{pren}} = 100 \text{ Nm}$
- Maksimalna brzina vrtnje za rad na suho: $n = 3800 \text{ }^\circ/\text{min}$
- Zavojnica:
- Nazivni napon: 24 V DC
 - Snaga: 29,7 W
 - Nazivna struja: 1,2 A
 - Klasa izolacije: F

- Priključne mjere:
 - A strana- $\text{Ø}19\text{H}7$ + utor za pero 6P9 DIN 6885
 - d) B strana- $\text{Ø}35\text{H}7$ + 3xM5 + 3x $\text{Ø}5$
 - Zračnost podešavanja: 0,3 +0,2 mm
 - Adresa isporučitelja spojke: Stromag Antriebstechnik, Winer Neudorf, Trister Strasse 14, (www.stromag.at)

Na stranu A preko vratila $\text{Ø}19\text{H}7/\text{Ø}19\text{j}6$, pozicija 6, koje je uležišteno preko nosača ležaja, pozicija 3, u kućištu spojke, pozicija 1, spaja se elektromotor. Dok se preko vratila $\text{Ø}19\text{j}6$, pozicija 7, uležištenog u kućištu, strana spojke B spaja s zupčaničkim reduktorom.

Predviđena zračnost između strana A i B spojke je 0.3+0,2 mm i ostvaruje se pripasavanjem ploče za podešavanje pri montaži, pozicija 8.

Prolaskom struje kroz zavojnicu i induciranjem magnetskog polja, pomični dio spojke, strana B privuče se strani spojke A, te se na taj način poništi aksijalna zračnost, a čeono ozubljenje se ozubi.

Kontrola uključenja, odnosno isključenja vrši se induktivnim prekidačem koji se nalazi u kućištu, pozicija 22.

Priključne mjere ulazne strane odgovaraju mjerama za priključenje motora 80- IM B5 (prirubnica B, $\text{Ø}200$ s promjerom centriranja $\text{Ø}130\text{H}7 \times 5,5$ mm; pričvršćenje se ostvaruje preko 4xM10/ $\text{Ø}165$ mm). Priključne mjere izlazne strane odgovaraju mjerama motora 80-IM B5.

Za ispitivanje spojke prema IEC HRN/EN 60079-1:2008, koristi se ispitni poklopac s navojnim rupama 2xR1/2", pozicija 9a, radionički crtež MB-100-009a.

Karakteristike pogonskog elektromotora tip; 5ATKA 80 B-4 B5- KONČAR:

- Nazivni moment vrtnje: $T_{\text{naz}} = 5 \text{ Nm}$
- Nazivna snaga: $P = 0,75 \text{ kW}$
- Nominalna brzina vrtnje: $n = 1390 \text{ min}^{-1}$
- Nazivni napon: $3 \times 400 \text{ V } 50 \text{ Hz}$, $I_{\text{naz}} = 1,9 \text{ A}$

Karakteristike zupčaničkog reduktora tip; 305 L4-649 PC P80B5V- Bonfiglioli:

- Izlazni moment vrtnje: $T_{\text{izl}} = 3150 \text{ Nm}$
- Prijenosni omjer: $i = 649$
- Izlazna brzina vrtnje: $n = 2,2 \text{ min}^{-1}$
- Maksimalni dopušteni izlazni moment vrtnje: $T_{\text{izl,max}} = 5000 \text{ Nm}$
- Položaj ugradnje: vertikalni

Položaj ugradnje spojke može biti proizvoljan (vodoravan/okomit), dok je na objektu ugradnje predviđen okomit položaj. Spojka se postavlja na prirubnicu elektromotora, a na nju se montira pogonski elektromotor. Obrnuta montaža nije moguća zbog izvedbe ulaznog, odnosno izlaznog dijela.

Zbog jednostavnosti rada, uključno/isključne spojke nije potrebno nikakvo dodatno educiranje.

Kako spojka radi na otvorenom prostoru i dodatno je zaštićena poklopcem konstrukcije pogona, nije izložena direktnom djelovanju sunca odnosno posolici, te se na istoj mogu očekivati temperature u rasponu od $+5^{\circ}\text{C}$ do $+40^{\circ}\text{C}$, što je povoljnije od dopuštene temperature okoline za uvodnice, odnosno za spojku klase izolacije F.

U samoj unutrašnjosti spojke ne mogu se razviti tlakovi veći od okolišnog, jer je unutrašnjost spojke, preko zaštitnih raspورا, spojena s okolnom atmosferom.

3.3.3. Popis primijenjenih normi

- 1) Norma HRN IEC/EN 60079-1:2008 Električni uređaji za eksplozivne atmosfere /Oklapanje 'd'/
- 2) Norma HRN IEC/EN 60079-0:2008 Eksplozivna atmosfera- opći zahtjevi
- 3) Norma HRN IEC/EN 60079-14:2008 Električni uređaji za eksplozivne plinske atmosfere /Električne instalacije u ugroženim prostorima/

3.4. UPUTE ZA UPORABU

3.4.1. Namjena

Osnovna namjena elektromagnetske spojke je uključivanje-isključivanje pogona okretanja pomičnih stepenica, kojima se dolazi na palubi tankera pri iskrcaju nafte. Kada se stepenice podignu podupiračem tj. pogonom za promjenu nagiba stepenica ili sustavom za podizanje s nosača, gdje su oslonjene kada nisu u uporabi, sustav zaštite (prekidač), na pomičnim ljestvama dopušta uključenje spojke s čeonim ozubljenjem EZB 10 T – Stromag.

Na taj se način ostvaruje spajanje pogona- vratila pogonskog elektromotora s zupčaničkim reduktorom.

Uključenjem pogonskog elektromotora omogućava se traženo zakretanje pomičnih stepenica oko vertikalne osi na traženu kutnu poziciju. Kada se kotači koji se nalaze na vrhu pokretnih stepenica oslone na palubu broda, pogon se isključi i spojka je u isključenom stanju.

Isključenje spojke je obavezno jer se pri iskrcaju nafte iz broda mijenja gaz broda. Osim gaza, uslijed praznjenja tankova, brod se i uzdužno pomiče

Kako se pomicanje ne bi prenosilo na stepenice ugrađeni su okretni kotači koji omogućavaju pomake broda u odnosu na stepenice. Ukoliko se kotači blokiraju ili dođe do zapinjanja istih, pogon koji je zakočen elektromotorom se isključuje.

3.4.2. Tehnički podaci

Elektromagnetska spojka- Ex spojka, je uređaj izveden u vrsti zaštite oklapanjem 'd', sukladno normama HRN IEC/EN 60079-1:2008 i HRN IEC/EN 60079-0:2008.

Nazivni podaci elektromagnetske uključno-isključne spojke, EZB 10T- Stromag, pozicija 18, jesu:

- Prenosivi okretni moment: $T_{\text{pren}} = 100 \text{ Nm}$
- Maksimalna brzina vrtnje za rad na suho: $n = 3800 \text{ }^\circ/\text{min}$
- Zavojnica:
- Nazivni napon: 24 V DC
 - Snaga: 29,7 W
 - Nazivna struja: 1,2 A
 - Klasa izolacije: F

- Priključne mjere:
 - A strana- Ø19H7 + utor za pero 6P9 DIN 6885
 - a) B strana- Ø35H7 + 3xM5 + 3xØ5
 - Zračnost podešavanja: 0,3 +0,2 mm
 - Adresa isporučitelja spojke: Stromag Antriebstechnik, Winer Neudorf, Trister Strasse 14, (www.stromag.at)

Na stranu A preko vratila Ø19H7/ Ø19j6, pozicija 6, koje je uležišteno preko nosača ležaja, pozicija 3, u kućištu spojke, pozicija 1, spaja se elektromotor. Dok se preko vratila Ø19j6, pozicija 7, uležištenog u kućištu, strana spojke B spaja s zupčaničkim reduktorom.

Predviđena zračnost između strana A i B spojke je 0.3+0,2 mm i ostvaruje se pripasavanjem ploče za podešavanje pri montaži, pozicija 8.

Prolaskom struje kroz zavojnicu i induciranjem magnetskog polja, pomični dio spojke, strana B, privuče se strani spojke A, te se na taj način poništi aksijalna zračnost, a čeonu ozubljenje se ozubi.

Priključne mjere ulazne strane odgovaraju mjerama za priključenje motora 80- IM B5 (prirubnica B, Ø200 s promjerom centriranja Ø130H7x5,5 mm; pričvršćenje se ostvaruje preko 4xM10/Ø165 mm). Priključne mjere izlazne strane odgovaraju mjerama motora 80-IM B5.

Karakteristike pogonskog elektromotora tip; 5ATKA 80 B-4 B5- KONČAR:

- Nazivni moment vrtnje: $T_{naz} = 5 \text{ Nm}$
- Nazivna snaga: $P = 0,75 \text{ kW}$
- Nominalna brzina vrtnje: $n = 1390 \text{ min}^{-1}$
- Nazivni napon: 3 x 400 V 50 Hz, $I_{naz} = 1,9 \text{ A}$

Karakteristike zupčaničkog reduktora tip; 305 L4-649 PC P80B5V- Bonfiglioli:

- Izlazni moment vrtnje: $T_{izl} = 3150 \text{ Nm}$
- Prijenosni omjer: $i = 649$
- Izlazna brzina vrtnje: $n = 2,2 \text{ min}^{-1}$
- Maksimalni dopušteni izlazni moment vrtnje: $T_{izl,max} = 5000 \text{ Nm}$
- Položaj ugradnje: vertikalni

3.4.3. Ugradnja

Od strane proizvođača dolazi kompletirana i spremljena spojka spremna za ugradnju i kao takvu je nije potrebno dodatno podešavati prilikom ugradnje.

Za uvod kabela koriste se certificirane uvodnice sa zaljevenom masom u vrsti zaštite oklapanjem 'd'. Provrti za uvod kabela su; M20x1,5 i M25x1,5

3.4.4. Stavljanje u rad s podešavanjem

Prije montaže sve nalijegajuće površine, te elemente koji se spajaju s reduktorom (vratilo Ø19j6 s pripadajućim perom 6x6 DIN 6885 i promjer centriranja Ø130H7x5) treba očistiti od sredstva za konzerviranje, te lagano nauljiti. Također isti postupak obaviti s pozicijama na koje se spaja spojka.

Spojka se okrene u vertikalni položaj s izlaznim vratilom prema dolje, te se lagano umetne preko vratila s perom u reduktor. Pri kraju centrira se promjer Ø130j6/H7 vodeći računa o poklapanju provrta Ø11 s navojima M10 (4x) s kojima se spaja zvono reduktora. S gornje strane umetne se izlazno vratilo elektromotora s pripadajućim perom, te se ponovi isti postupak kao pri montaži reduktora.

Skinu se bočni poklopci, pozicija 9, 10 i 11, te se umetanjem etalon listića (ventilera) dodatno prekontrolira zračnost koja je podešena pri montaži kod proizvođača, između nepokretnog i pokretnog dijela spojke (prikazano na crtežu broj: MB-100-00, list 1/5) koja mora biti 0,3 +0,1 mm (dopušteno po preporuci proizvođača spojke 0,3+0,2 mm).

U slučaju odstupanja iznad 0,4 mm spojka se ne smije ugraditi, već se treba dodatno podesiti na traženu zračnost. Spojka se mora demontirati, a u radionici skinuti prirubnica elektromotora, pozicija 2, s ugrađenim svim elementima, otpuštanjem cilindričnih vijaka s šesterokutnom rupom (imbus) vijaka M5x25, pozicija 25. Time se oslobađa ploča za

podešavanje, pozicija 8. Kako bi se postigla tražena zračnost između nepokretnog i pokretnog dijela spojke od 0,3 do 0,4 mm za razliku zračnosti (izmjerena zračnost- tražena zračnost) treba planski prebrusiti ploču za podešavanje. Ukoliko je zračnost manja od 0,3 mm, treba izraditi novu ploču za podešavanje, pozicija 8, te ponoviti postupak podešavanja potrebne zračnosti $0,3+0,1$ mm.

Ukoliko se ugrađuje prekidač za kontrolu pozicije spojke (uključeno-isključeno), pozicija 22, isti treba podesiti da u isključenom stanju spojke razmak između šesira senzora, pozicija 12, i prekidača kad je spojka isključena bude $0,1 \pm 0,1$ mm. Podešavanje se obavlja vijcima s šesterokutnom glavom M5x10 (OK8), pozicija 31, pomicanjem klizača senzora, pozicija 16, s pričvršćenim prekidačem kroz proreze do tražene pozicije.

Uključenjem spojke poništava se aksijalna zračnost, a na prekidaču mora zasvijetliti kontrolna LED dioda kao indikator uključene spojke.

Nakon ponovne montaže poklopaca, pozicija 9, 10 i 11, moguća je ugradnja spojke u sklop pogona sustava za okretanje stepenica priveza.

Aksijalna zračnost od 0,02 mm unutrašnjeg prstena ležaja se namješta umetanjem između unutarnjeg prstena i segerovog uskočnika lima koji se po potrebi brusi na odgovarajuću debljinu kako bi se mogao montirati segerov uskočnik u pripadajući utor.

3.4.5. Uporaba

Uporaba, odnosno način rada spojke integriran je unutar sustava upravljanja radom pogona za okretanje stepenica. Pri davanju instrukcije- stepenice u okretanje- na spojku se priključi napon napajanja, 24 V DC, prilikom čega se spojka uključi. Dovođenjem napajanja pogonskom elektromotoru, 3x400 V, počinje zakretanje stepenica u traženu kutnu poziciju, prilikom čega se vrši kontrola uključenosti/isključenosti spojke preko indukcionog prekidača.

Kada se stepenice dovedu u traženu poziciju, istovremeno se isključuje napajanje elektromotora i elektromagnetske spojke. Spojka je pod naponom samo za vrijeme trajanja rotacije stepenica, što obično traje od jedne do dvije minute prilikom čega se stepenice pozicioniraju i oslanjaju na palubu broda.

3.4.6. Održavanje

Kako su ležajevi u samoj elektromagnetskoj spojci podmazani trajnom mašću, a osim toga izvedeni su u tkz. 2RS izvedbi nije potrebno u toku eksploatacije dodatno vršiti podmazivanje istih. Izvedeno podmazivanje trajnom mašću prema preporuci proizvođača SKF, FAG osigurava rad od minimalno 500 sati rada u navedenim uvjetima. Kako je mala učestalost rada spojke (do 3000 uključenja godišnje po maksimalno dvije minute, što daje približno 70 sati rada), preporuka je da se nakon 5 godina promjene svi ležajevi 3207 2RS, te da se provjere i podmažu ležajevi spojke. Za podmazivanje koristiti trajnu mast po preporuci proizvođača maziva (INA, Castrol i dr.), odnosno mazivo koje se koristi na ostalim pokretnim dijelovima i ležajevima na privezu.

Najmanje jedan put godišnje, potrebno je provjeriti stanje korozije u/na vanjskoj površini spojke i po potrebi sanirati završni premaz, dok unutrašnjost, koja je zatvorena od vanjskog utjecaja atmosferilija, u slučaju korozije je potrebno istu odstraniti i zaštititi uljnim premazom.

3.4.7. Sastavljanje i rastavljanje

Za sastavljanje/rastavljanje spojke potreban je standardni alat (komplet imbus ključeva veličine 1-10; komplet viljuškastih/nasadnih ključeva OK8-19; izvlačač za skidanje glavčine spojke i ležaja s vratila; kliješta za segerove osigurače i dr.)

Tijek montaže nije potrebno dodatno obrazlagati jer se u navedenim crtežima, MB-100-000 od ukupno 4 lista (crteža), lako uočava tijek montaže prema danim pozicijama koje su koncipirane na način da onemoguće preskakanje određenih faza ili dijelova prilikom montaže.

Preporuka je da se ugradbene cjeline formiraju prema tri osnovna dijela i to:

Izlazni dio:

- Na vratilo, pozicija 6, montira se dvoredni kuglični ležaj, pozicija 19, čija se aksijalna zračnost podešava prstenom, pozicija 17, te se osigurava segerovim uskočnikom, pozicija 24;
- Na vanjski prsten ležaja/vratilo, navuče se nosač ležaja- reduktor, pozicija 3, uz kontrolnu zračnost između vratila i nosača ležaja- reduktor, koji mora iznositi $0,15+0,025$ mm;
- Na rukavac vratila (strana elektromotora) s ugrađenim perom, pozicija 37, navuče se nepokretni dio spojke, pozicija 18, te se osigurava podloškom spojke, pozicija 13 i vijkom, pozicija 33, od aksijalnog pomicanja

- Ovakva cjelina se umeće u kućište spojke, pozicija 1, i steže se s vijcima, pozicija 33
- Na vanjski prsten ležaja, pozicija 19, postavlja se pritezač ležaja-2, pozicija 5, koji se prolaznim vijcima, pozicija 35, spaja s kućištem, pozicija 1.
- Spojka se osigurava protiv okretanja grebenom, pozicija 14, preko vijaka, pozicija 28.
- U kućištu moraju biti postavljeni vijci, pozicija 28, kojima se zatvaraju navoji M5.

Ulazni dio (dio na koji se spaja elektromotor)

- na vratilo elektromotora, pozicija 7, montira se dvoredni kuglični ležaja 3207 2RS, pozicija 19, čija se aksijalna zračnost podešava preko prstena, pozicija 17, te se osigurava segerovim uskočnikom, pozicija 24.
- Na vanjski prsten ležaja/vratilo, navuče se prirubnica elektromotora, pozicija 2, uz kontrolnu zračnost između vratila i prirubnice elektromotora, koja mora iznositi $0,15 + 0,025$ mm.
- s vanjske strane postavlja se pritiskač ležaja-1, pozicija 4, i priteže vijcima, pozicija 23.
- Na rukavac vratila (s druge strane), navuče se pokretni dio spojke, pozicija 18, te se spoji i osigura vijcima, pozicija 23, i zaticima, pozicija 29, od aksijalnog pomicanja, odnosno u svrhu prenošenja momenta vrtnje. Istovremeno na kućištu spojke mora biti montiran šušur senzora, pozicija 12.
- Ovakva cjelina se umetne u kućište spojke, pozicija 1, te se pomiče dok se spojka ne ozubi. Izmjeri se zračnost između kućišta i prirubnice na nalijegajućoj površini. Ploča za podešavanje, pozicija 8, brusi se na mjeru koja je jednaka upravo izmjerenoj zračnosti uvećanoj za traženu zračnost ($0,3+0,1$ mm) između pomične i ne pomične strane spojke u isključenom stanju.
- Cjelina se vadi van, te s brušenom pločom na potrebnu mjeru se ponovo umeće u kućište spojke, pozicija 1, i priteže se vijcima, pozicija 25.

Ostalo:

- Na kućište spojke, pozicija 1, montira se nosač prekidača- kutnik, pozicija 15, s klizačem prekidača, pozicija 16, na koji je montiran induktivni prekidač, pozicija 22
- Na vanjske površine se montiraju bočni poklopci, pozicije; 9, 10 i 11 s pripadajućim uvodnicama M20x1,5 i M25x1,5; pozicija; 20 i 21
- Za spajanje na reduktor pogona, odnosno elektromotora, koriste se vijci, pozicija 36.

ZAKLJUČAK

Upotreba neelektričnih uređaja u industriji i proizvodnji bilo koje vrste, u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom predstavlja poseban problem te se istoj, obzirom na opasnost po život i zdravlje ljudi, pristupa na način da se zaštita sustava i uređaja izvodi prema točno definiranim propisima koji osiguravaju potrebnu sigurnost, odnosno zaštitu.

Prema uvodnom djelu rada može se naslutiti obim i kompleksnost protueksplozijske zaštite i pristup istoj. Osim konstrukcijskih zahtjeva koje propisuje određena norma, ovisno o vrsti zaštite, mora se udovoljiti i zakonskim regulativama i propisima koji se većinom oslanjaju na zakon o zaštiti na radu.

Oprema namijenjena uporabi u Ex- atmosferi mora biti ispitana i certificirana od strane Ex-agencije kako bi se utvrdilo stvarno stanje zaštite i dali oprema udovoljava svim zahtjevima koji se na nju i postavljaju.

Kao primjer navedenog, u radu je obrađena vrsta zaštite oklapanjem 'd', te je ista primijenjena na elektromagnetskoj spojci namijenjenoj za rad u eksplozivnoj atmosferi, točnije- naftnom terminalu, čija je funkcija omogućiti prijenos potrebnog okretnog momenta u svrhu pozicioniranja podesivih stepenica namijenjenih za prijelaz ljudi.

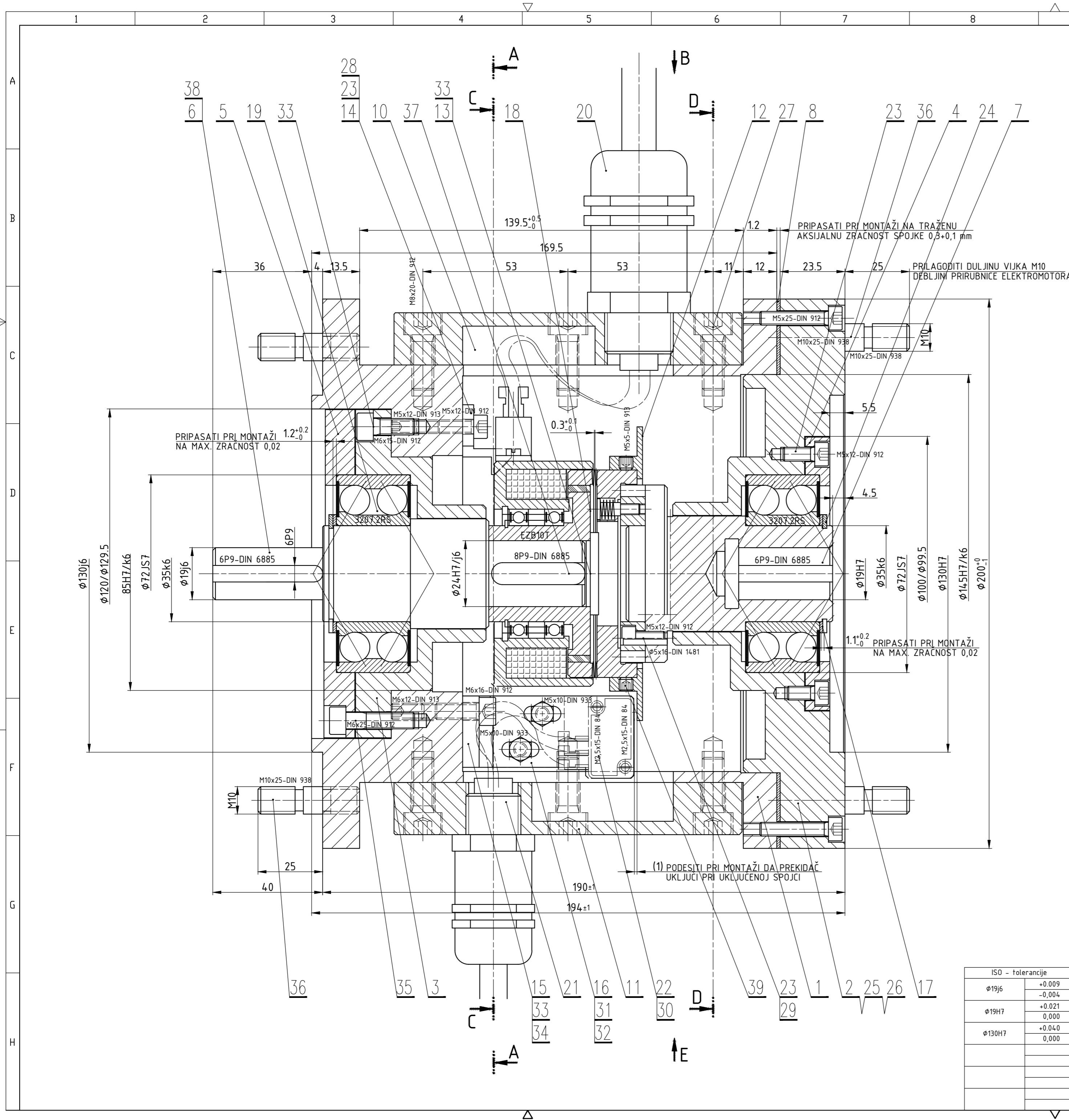
Zaštita oklapanjem 'd' izvedena je sukladno propisanoj normi, HRN IEC/EN 60079-1:2008, uz poštivanje osnovnih konstrukcijskih zahtjeva koji se postavljaju na opremu i uređaje, a definirani su HRN IEC/EN 60079-0:2008.

LITERATURA

- [1] Marinović, J.J.N: Oprema i instalacije za eksplozivnu atmosferu, Nenad J.J. Marinović, 2010
- [2] Marinović, J.J.N.: Protueksplozijska zaštita za eksplozivnu atmosferu, Zagreb: Etekon, 2005. (Nova Gradiška: Tiskara Arca)
- [3] Rumbak, S.: Doktorski rad.
- [4] Decker, K. H.: Elementi strojeva, Tehnička knjiga Zagreb, 2006.
- [5] www.koncar.hr
- [6] Horvat Z. i suradnici: Podloge za vježbe - Vratilo, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.
- [7] www.skf.com

PRILOZI

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija



NAPOMENA:

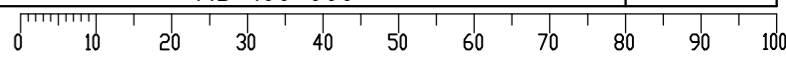
- SVE VIJKE OSIGURATI S LOCTITE-om 243.
- NAKON UGRADNJE ZAŠTITI SPOJKU ZN PROTEKTOR SPREJEM U MIN DEBLJINI 0,1 mm.
- SVU VIJČANU ROBU ISPORUČITI U SREDNJOJ KLASI TOLERANCIJE -6g.

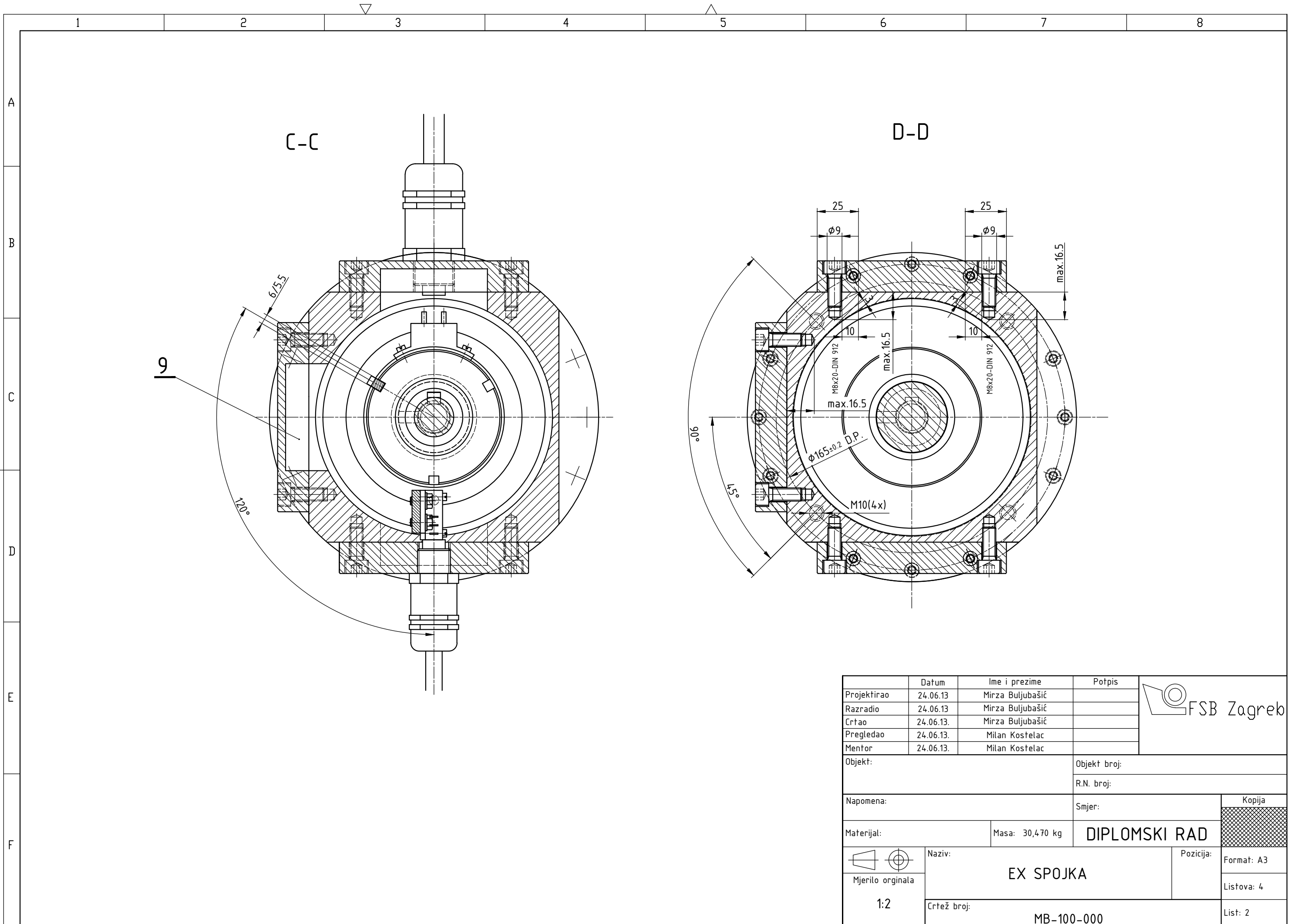
Poz.	Naziv dijela	kom.	Crtež broj Norma	Matерijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa
39	ZATIČNI VIJAK M5x5	3	DIN913	10.9	M5x5	0,003 kg
38	VISOKO PERO 6x6x40	1	DIN6885A	Č.	6x6x40	0,011 kg
37	VISOKO PERO 8x7x35	1	DIN6885A	Č.	8x7x35	0,015 kg
36	SVORNI VIJAK M10x25	12	DIN938	8.8	M10x25	0,288 kg
35	IMBUS VIJAK M6x25	6	DIN912	8.8	M6x25	0,054 kg
34	ZATIČNI VIJAK M6x12	2	DIN913	10.9	M6x12	0,006 kg
33	IMBUS VIJAK M6x16	6	DIN912	8.8	M6x16	0,042 kg
32	OBIČNA PODLOŠKA A5	2	DIN125	Č.	A5	0,002 kg
31	ŠESTEROKUTNI VIJAK M5x10	2	DIN933	8.8	M5x10	0,008 kg
30	VIJAK M2,5x15	2	DIN84	5.6	M2,5x15	0,014 kg
29	ELASTIČNI ZATIK Ø5x16	3	DIN1481	Č.	Ø5x16	0,006 kg
28	ZATIČNI VIJAK M5x12	2	DIN913	10.9	M5x12	0,004 kg
27	IMBUS VIJAK M8x20	18	DIN912	8.8	M8x20	0,270 kg
26	CILINDRIČNI ZATIK	2	DIN7979	Č.	Ø6x35	0,010 kg
25	IMBUS VIJAK M5x25	12	DIN912	10.9	M5x25	0,720 kg
24	SEGEROV USKOČNIK VANJSKI	2	DIN471	Č.	35	0,008 kg
23	IMBUS VIJAK M5x12	14	DIN912	8.8	M5x12	0,560 kg
22	INDUKTIVNI PREKIDAČ	1	BESS17		S=0...1,6, BALLUFF	0,005 kg
21	UVODNICA M20x1,5	1	8163/2-20-PXSS2K-M2		M20x1,5, STAHL	0,300 kg
20	UVODNICA M25x1,5	1	8163/2-25-PXSS2K-M25		M25x1,5, STAHL	0,470 kg
19	DVOREDNI KUGLIČNI LEŽAJ	2	3207.2RS		Ø35/Ø72x27, FAG, SKF	0,400 kg
18	UKLJUČNO-ISKLJUČNA SPOJKA PRSTEN	1	EZB10T		Ø24h7, STROMAG	1,100 kg
17	KLIZAČ PREKIDAČA	1	MB-100-016	Č0361		0,030 kg
16	KUTNIK	1	MB-100-015	Č0361	25x25x20	0,063 kg
15	GREBEN	1	MB-100-014	Č0361	25x25x20	0,011 kg
14	PODLOŠKA SPOJKE	1	MB-100-013	Č1530	Ø30x15	0,020 kg
13	ŠEŠIR SENZORA	1	MB-100-012	Č1530	Ø110x20	0,180 kg
12	POKLOPAC M20x1,5	1	MB-100-011	Č0361	Ø135x120x20	1,634 kg
11	POKLOPAC M25x1,5	1	MB-100-010	Č0361	Ø135x120x20	1,633 kg
10	SLIJEPI POKLOPAC	1	MB-100-009	Č0361	Ø135x120x20	1,500 kg
9	PLOČA ZA PODEŠAVANJE	1	MB-100-008	Č0361	Ø200x1,5	0,136 kg
8	VRATILO-ELEKTROMOTOR	1	MB-100-007	Č4.732.4	Ø45x125	0,703 kg
7	VRATILO-REDUKTOR	1	MB-100-006	Č4.732.4	Ø45x125	0,716 kg
6	PRITISKAČ LEŽAJA 2	1	MB-100-005	Č1530	Ø120x18	0,594 kg
5	PRITISKAČ LEŽAJA 1	1	MB-100-004	Č1530	Ø100x18	0,254 kg
4	NOSAČ LEŽAJA - REDUKTOR	1	MB-100-003	Č1530	Ø200x65	1,113 kg
3	PRIRUBNICA ELEKTROMOTORA	1	MB-100-002	Č1530	Ø200x60	5,320 kg
2	EX KUCIŠTE SPOJKE	1	MB-100-001	Č1530	Ø200x200	12,50 kg
1						

Broj naziva - code	Datum	Ime i prezime	Potpis
Projektiраo	24.06.13	Mirza Buljubašić	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić	
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić	
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac	
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac	

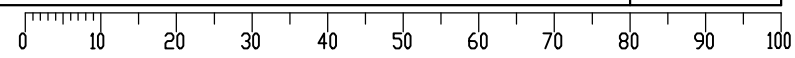


ISO - tolerancije	ISO - tolerancije	Objekt:	Objekt broj:
Ø19j6	Ø85H7/k6		R.N. broj:
Ø19H7	Ø145H7/k6	Napomena:	Smjer:
Ø130H7	Ø130j6	Matерijal:	Masa: 30,470 kg
	Ø72H7	Mjerilo originala	DIPLOMSKI RAD
	Ø72JS7	1:1	Format: A2
	Ø35k6	Crtež broj:	Listova: 4
			List: 1

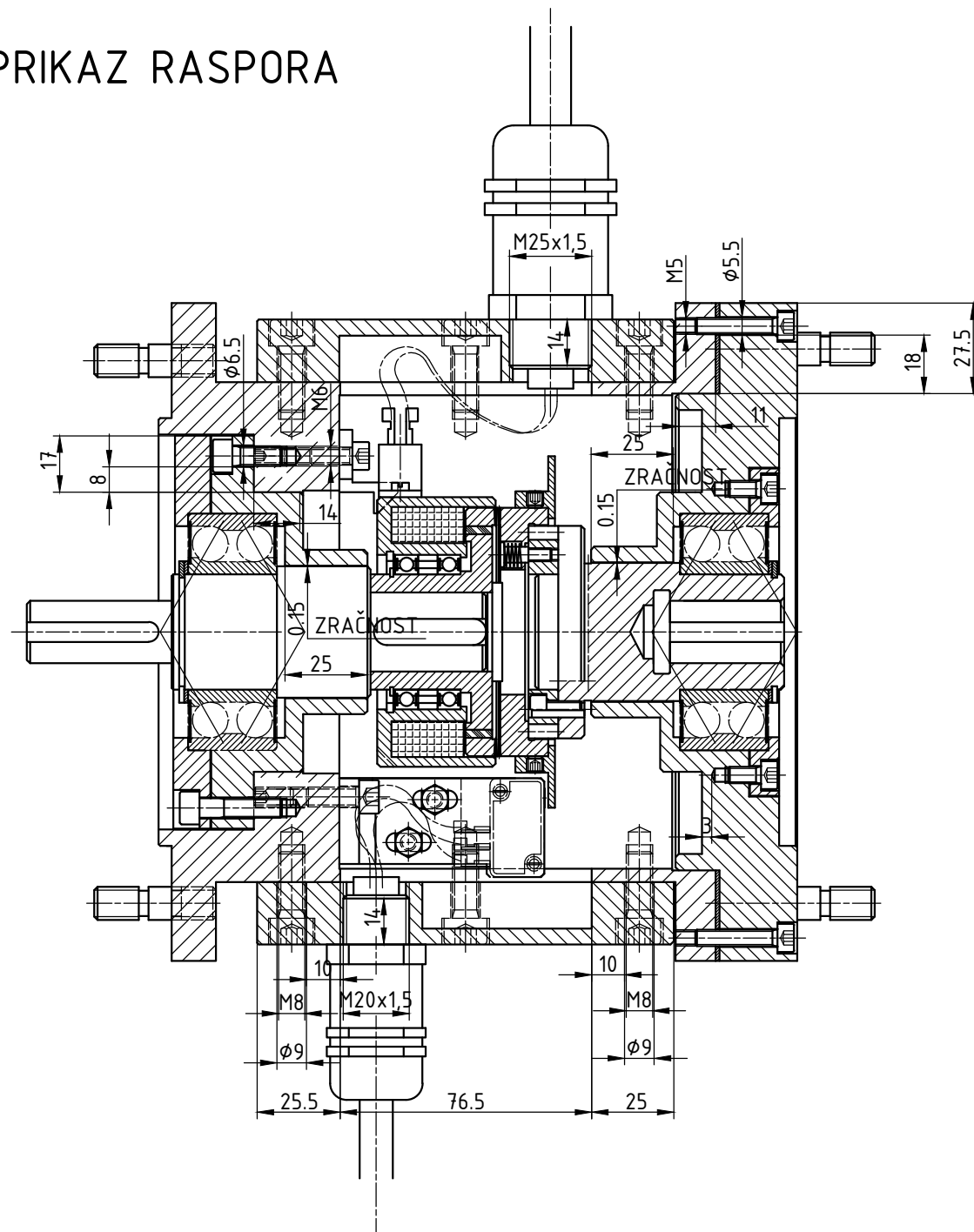




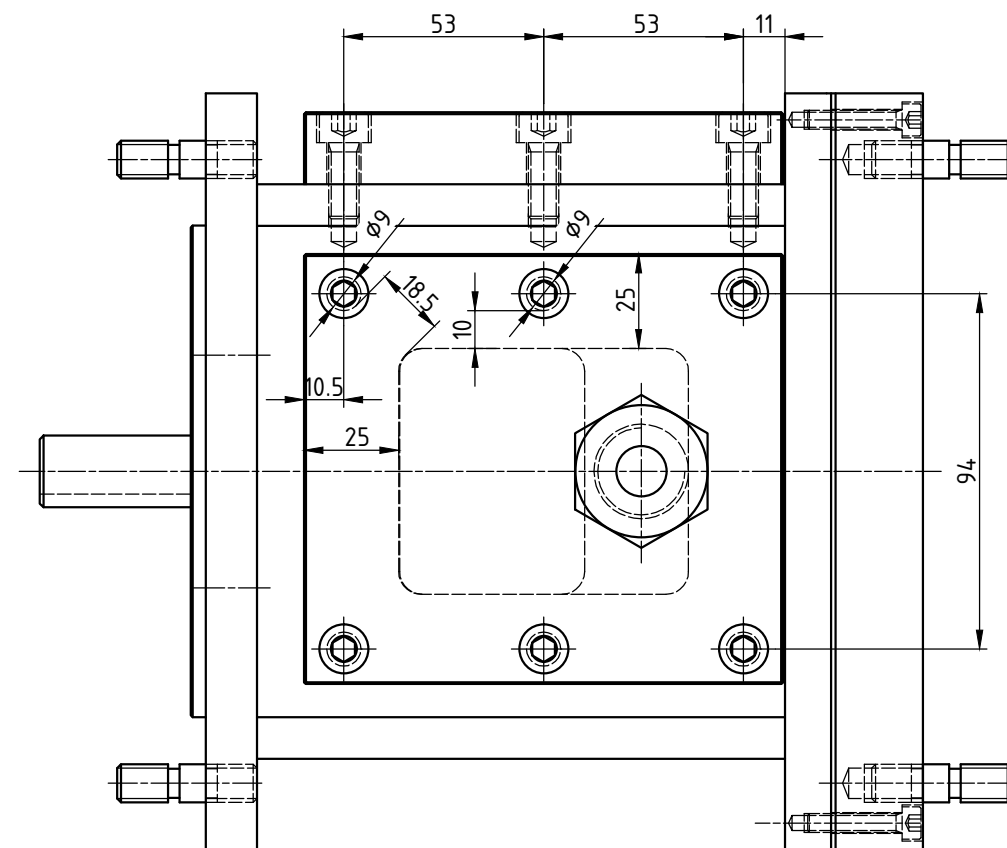
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:		Objekt broj:		
		R.N. broj:		
Napomena:		Smjer:		Kopija
Materijal:		Masa: 30,470 kg	DIPLOMSKI RAD	
 Mjerilo originala	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
	EX SPOJKA			Listova: 4
1:2	Crtež broj:		List: 2	
		MB-100-000		



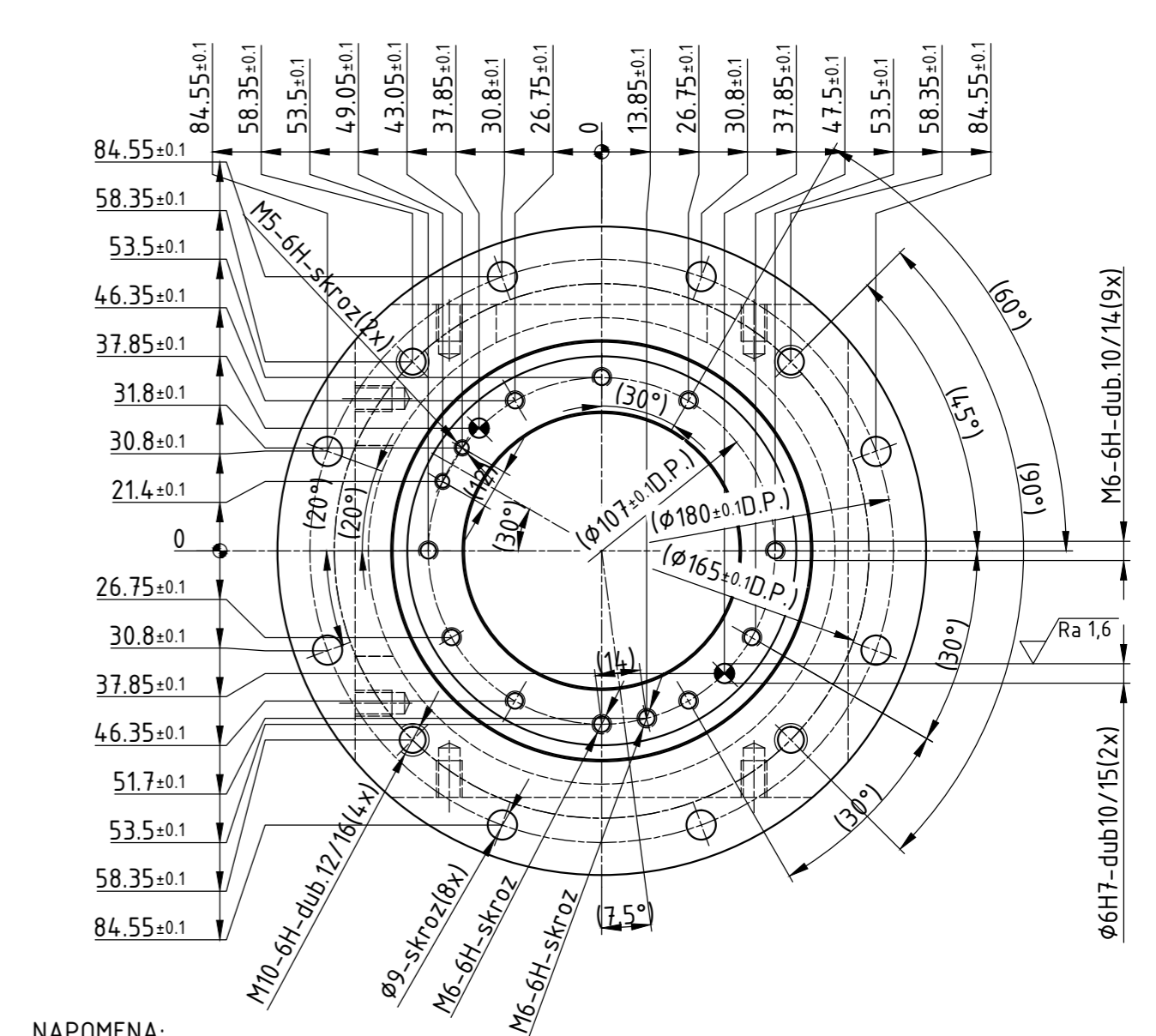
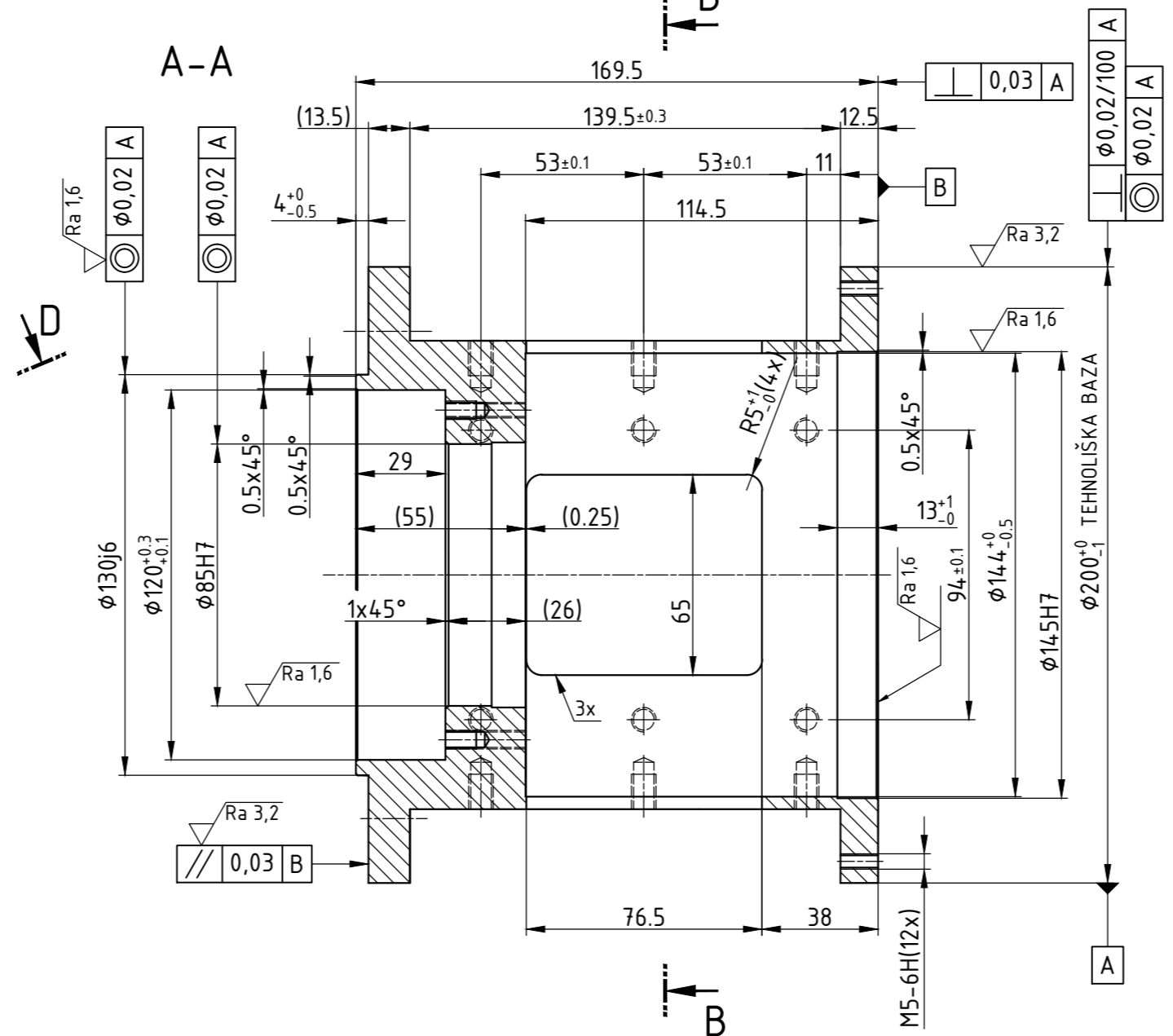
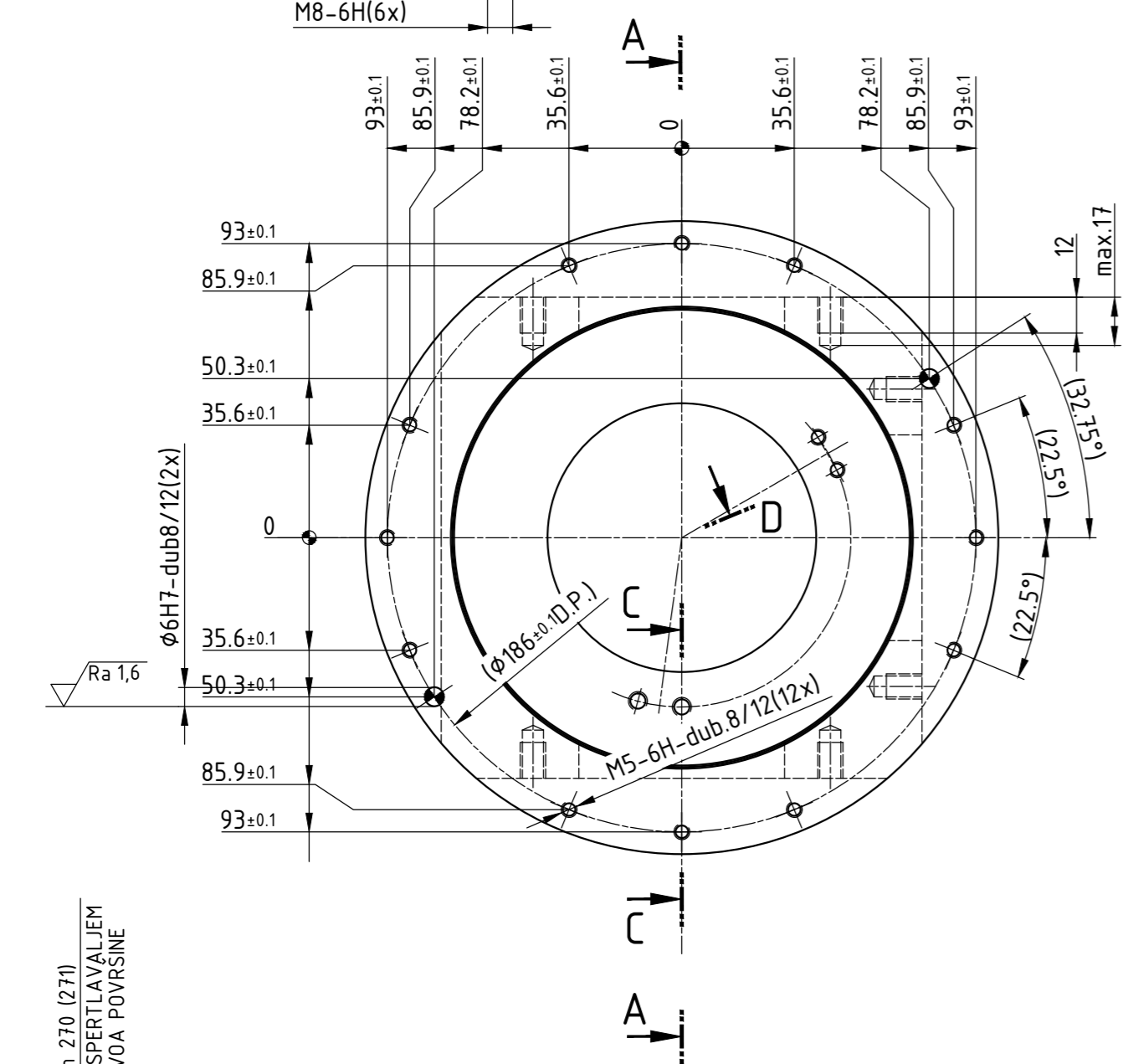
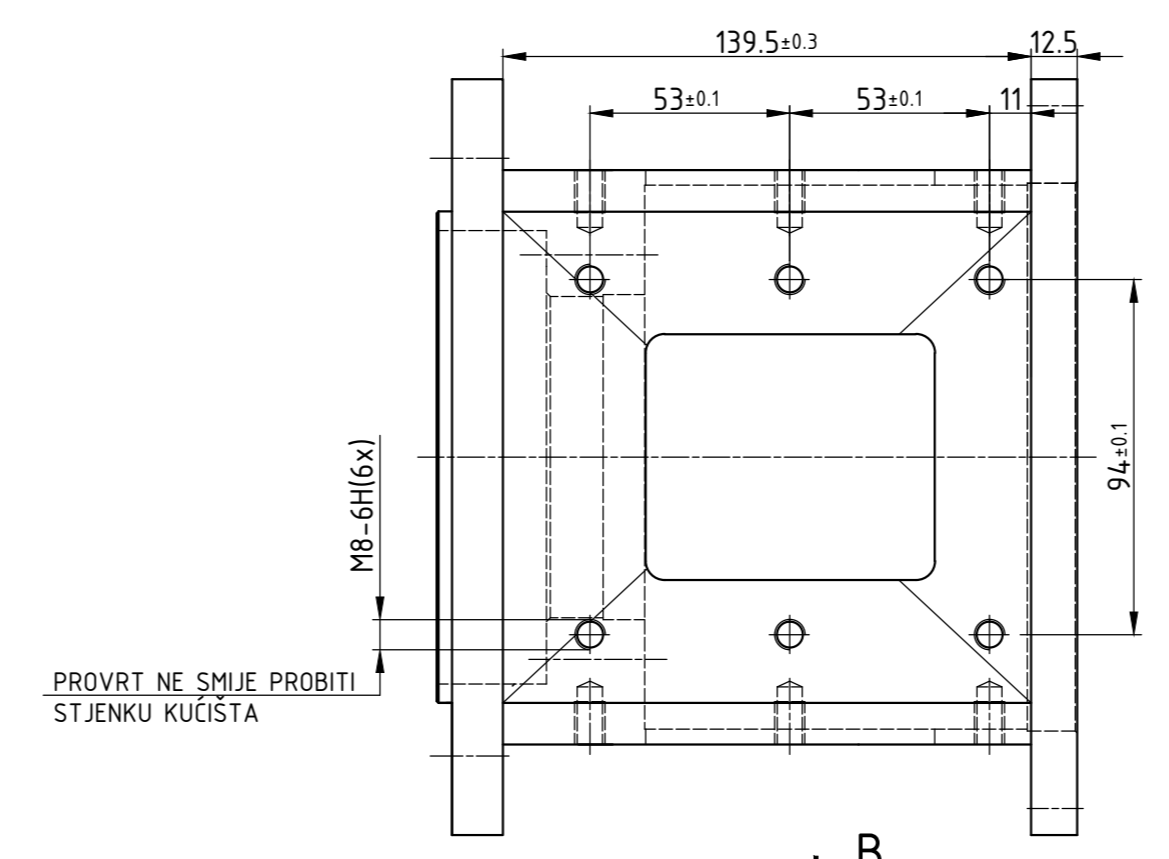
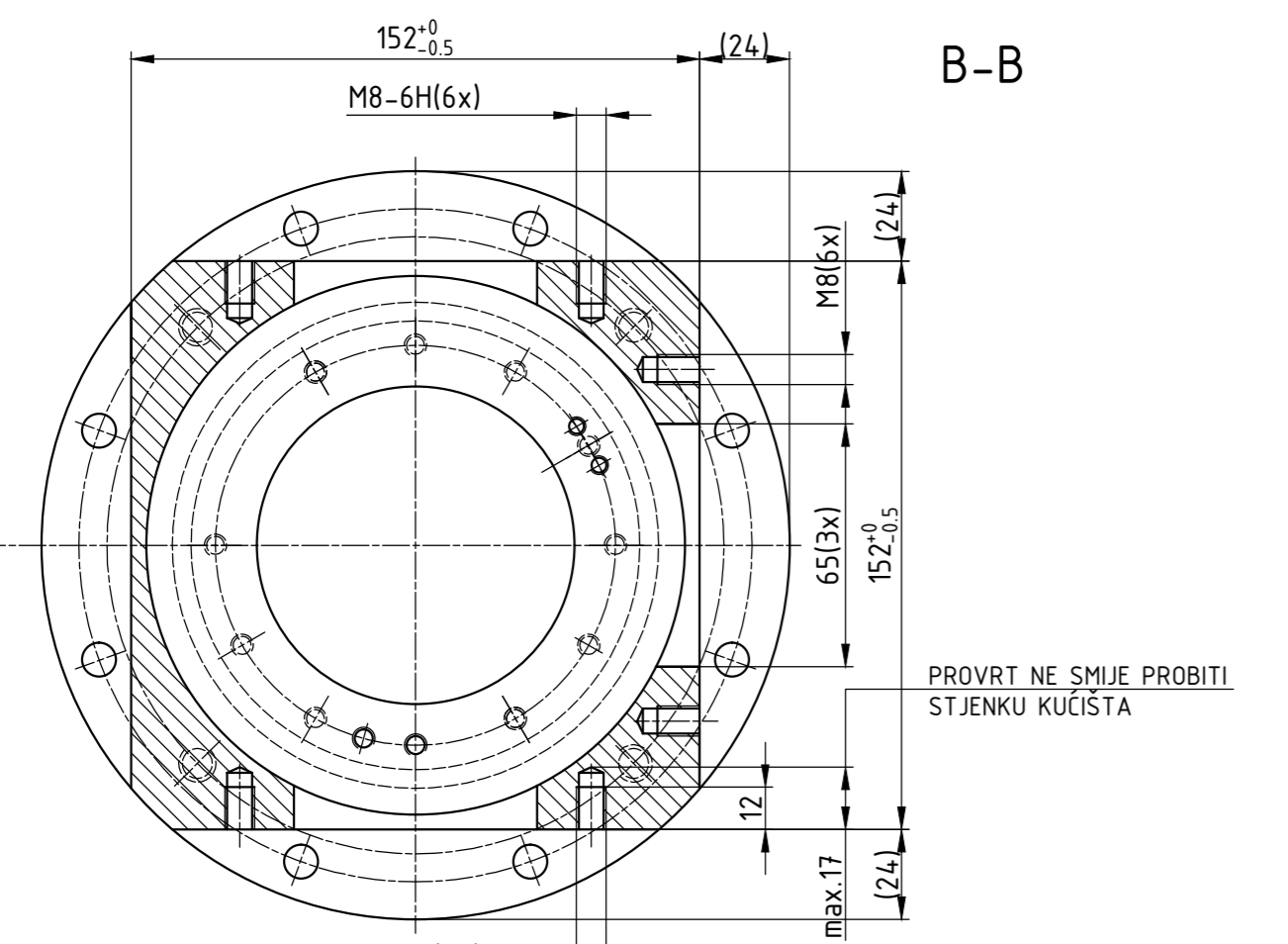
PRIKAZ RASPORA



POGLED B



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:		Objekt broj:		
		R.N. broj:		
Napomena:		Smjer:		Kopija
Materijal:		Masa: 30,470 kg	DIPLOMSKI RAD	
 Mjerilo originala 1:2	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
	EX SPOJKA			Listova: 4
Crtež broj:		MB-100-000		List: 3



- NAPOMENA:**
1. PROVRTNE Ø6H7 BUŠITI I RAZVRTATI U SKLOPU S PRIPADAJUĆIM POZICIJAMA ILI BUŠITI S TOLERANCIJOM ±0,01, TE RAZVRTATI NA KONAČNU MJERU Ø6H7
 2. SVE OŠTRNE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBLITI
 3. BRUNIRATI

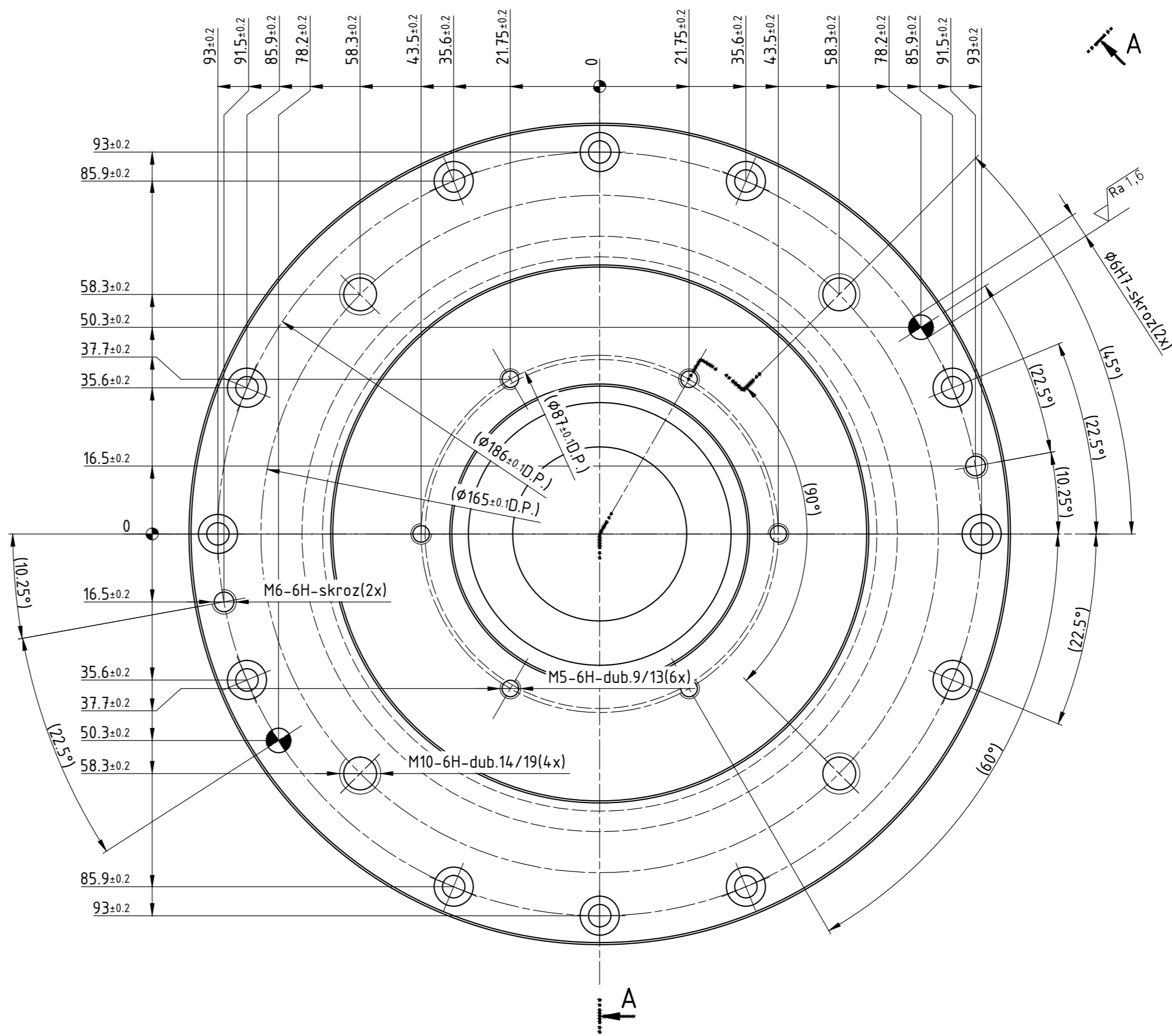
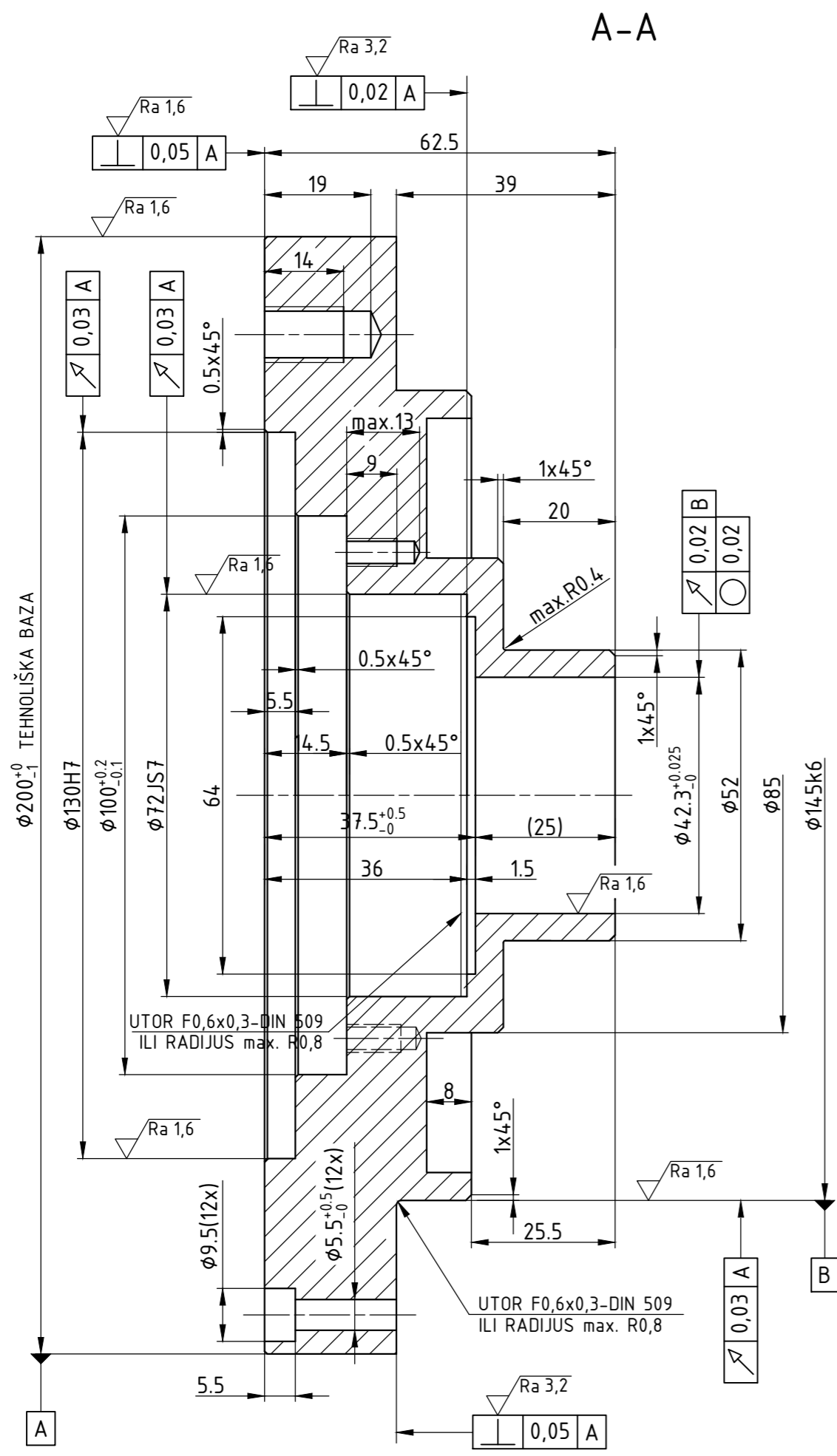
ZALIJEPI TI NAVOJ S LOČTITE-om 270 (Z71) NAVOJ DODATNO OSIGURATI RASPERTLAVAJEM VRH VIJKA MORA BITI ISPOD NIVOA POVRŠINE

ZALIJEPI TI NAVOJ S LOČTITE-om 270 (Z71) NAVOJ DODATNO OSIGURATI RASPERTLAVAJEM VRH VIJKA MORA BITI ISPOD NIVOA POVRŠINE

PROVRT NE SMIJE PROBITI STJENKU KUĆIŠTA

Broj naziva - code	Projektor	Datum	Ime i prezime	Potpis	FSB Zagreb
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
Ø130j6	+0,014 -0,011	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:	
Ø145H7	+0,040 0,000	Napomena:		Smjer:	
Ø85H7	+0,030 0,000	Materijal: Č1530	Masa: 12,5 kg	DIPLOMSKI RAD	
Ø6H7	+0,012 0,000	Mjerilo originala		Naziv:	
		1:2		KUĆIŠTE	
		Crtež broj: MB-100-001		Mjerna jedinica: 1	
				Format: A2	
				Listova: 1	
				List: 1	

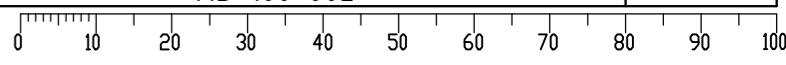
√Ra 6,3 (√Ra 3,2 / √Ra 1,6)

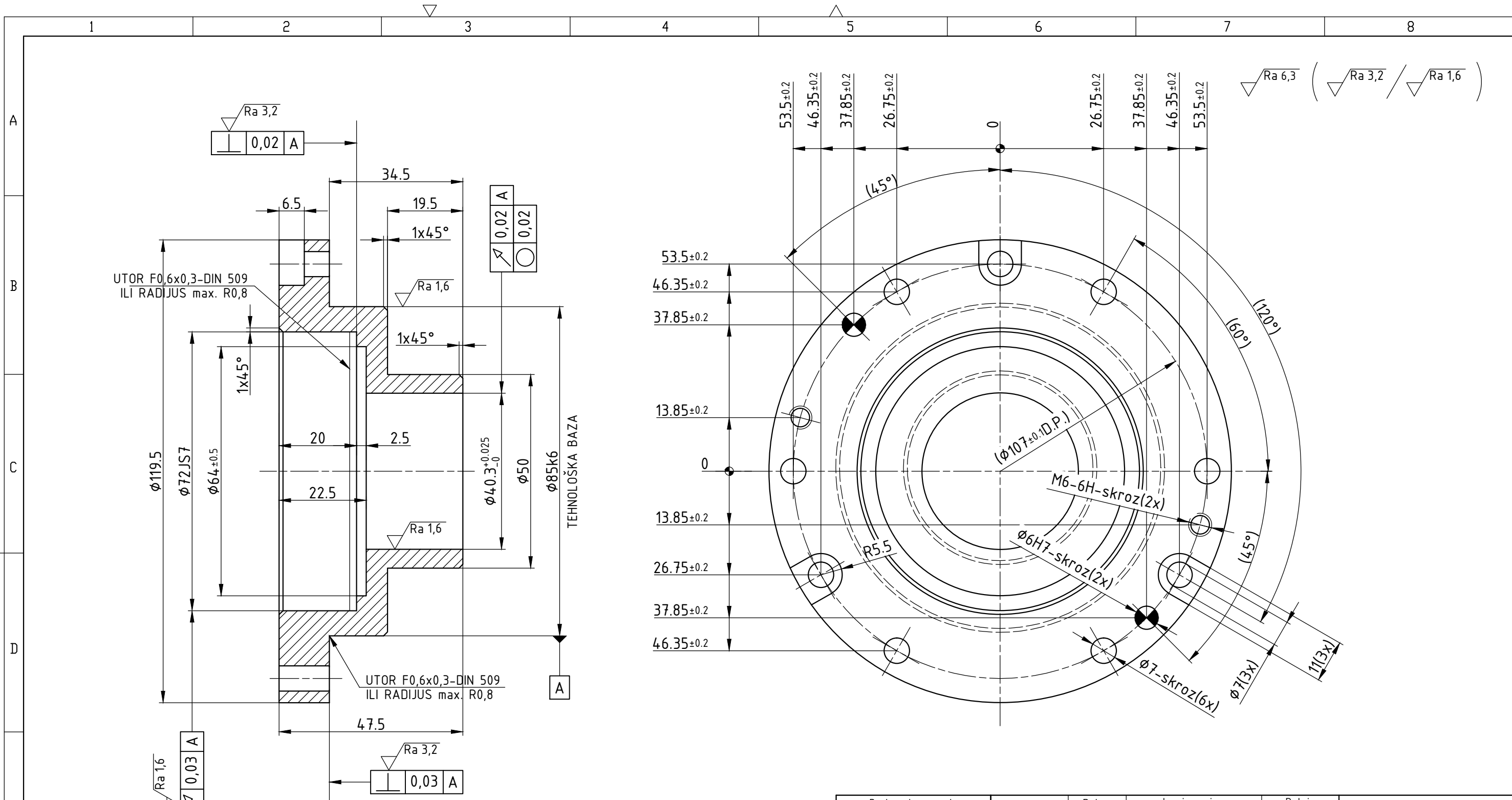


NAPOMENA:

1. PROVRTI Ø6H7 BUŠITI I RAZVRTATI U SKLOPU S PRIPADAJUĆOM POZICIJOM PREDBUŠITI NA Ø5 ILI BUŠITI S TOLERACIJOM ±0,01, TE RAZVRTATI NA KONAČNU MJERU Ø6H7
2. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOBLITI
3. BRUNIRATI

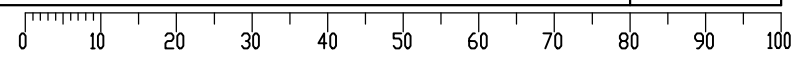
Broj naziva - code	Projektirao	24.06.13	Ime i prezime	Mirza Buljubašić	Potpis	FSB Zagreb
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić			
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić			
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac			
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac			
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:		
Ø130H7	+0,035 0,000	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:		
Ø14.5k6	+0,028 +0,003	Napomena:		Smjer:		
Ø72JS7	+0,015 -0,015	Materijal: Č1530	Masa: 5,32 kg	DIPLOMSKI RAD		
Ø6H7	+0,012 0,000	Mjerilo originala		Naziv: PRIRUBNICA ELEKTROMOTORA		
		1:1		Pozicija: 2		
		Crtež broj: MB-100-002		Listova: 1		
				List: 1		

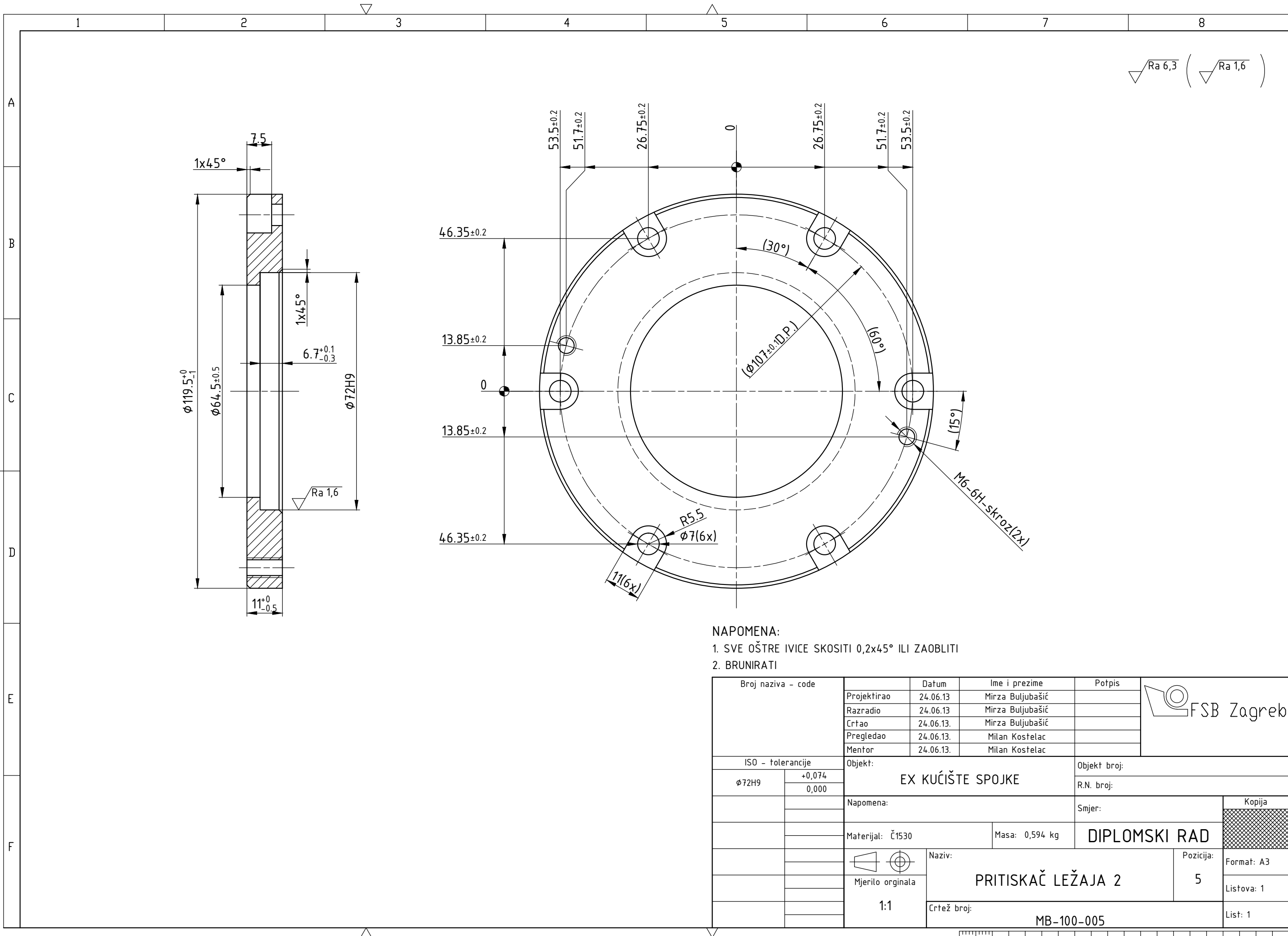




- NAPOMENA:**
1. PROVRTTE Ø6H7 BUŠITI I RAZVRTATI U SKLOPU S PRIPADAJUĆOM POZICIJOM PREDBUŠITI NA Ø5 ILI BUŠITI S TOLERACIJOM ±0,01, TE RAZVRTATI NA KONAČNU MJERU Ø6H7
 2. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBLITI
 3. BRUNIRATI

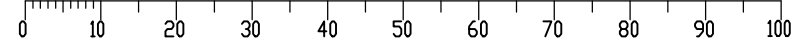
Broj naziva - code	Projektirao	24.06.13	Ime i prezime	Mirza Buljubašić	Potpis	
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić			
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić			
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac			
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac			
ISO - tolerancije	Objekt:		Objekt broj:		Kopija	
Ø85k6	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:			
Ø72JS7	Napomena:		Smjer:		<div style="background-color: #cccccc; width: 100px; height: 100px;"></div>	
Ø6H7	Materijal: Č1530	Masa: 1,113 kg	DIPLOMSKI RAD			
	Naziv:		Pozicija:			
	Mjerilo originala	NOSAČ LEŽAJA REDUKTORA		3	Format: A3	
	1:1	Crtež broj:		Listova: 1		
		MB-100-003		List: 1		



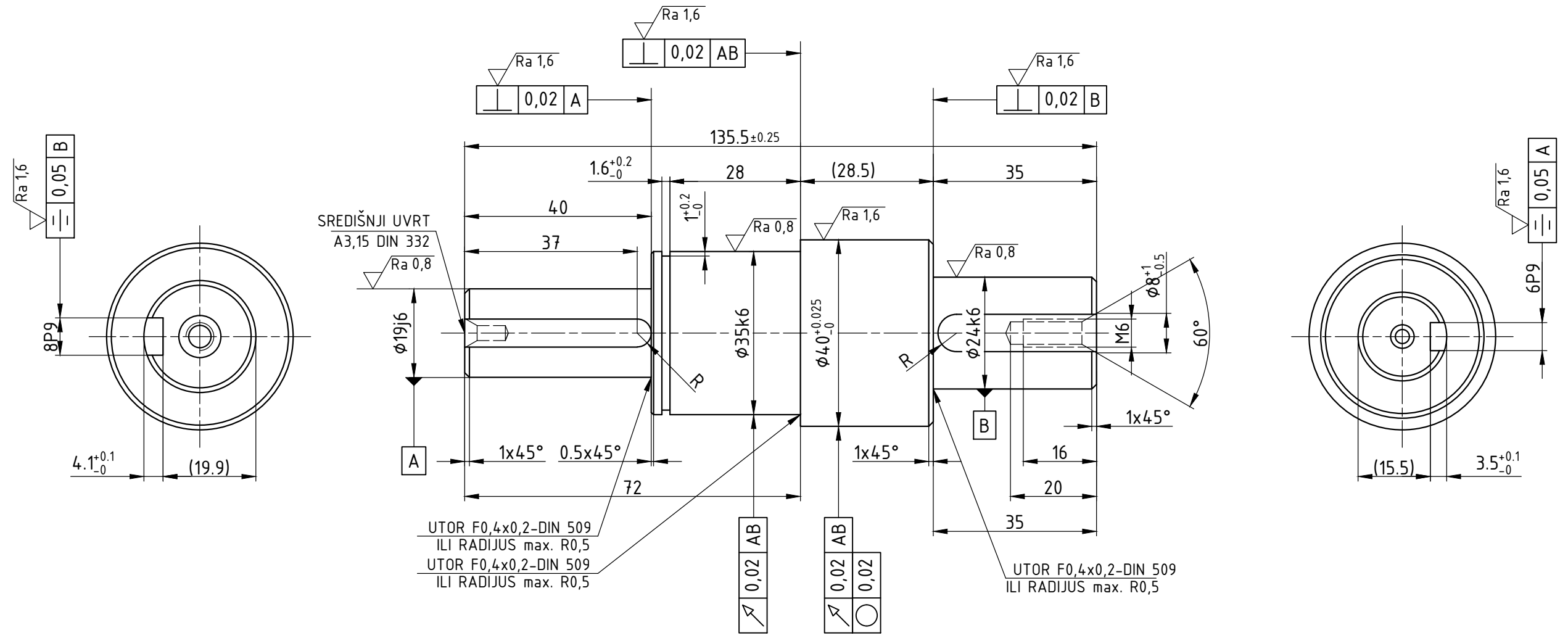


- NAPOMENA:**
1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBITI
 2. BRUNIRATI

Broj naziva - code	Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić	Potpis	
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\phi 72H9$	+0,074 0,000	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:	
		Napomena:		Smjer:	
		Materijal: Č1530	Masa: 0,594 kg	DIPLOMSKI RAD	
				Naziv:	
		1:1		PRITISKAČ LEŽAJA 2	
		Mjerilo originala		Pozicija:	
				5	
		Crtež broj:		Format: A3	
		MB-100-005		Listova: 1	
				List: 1	

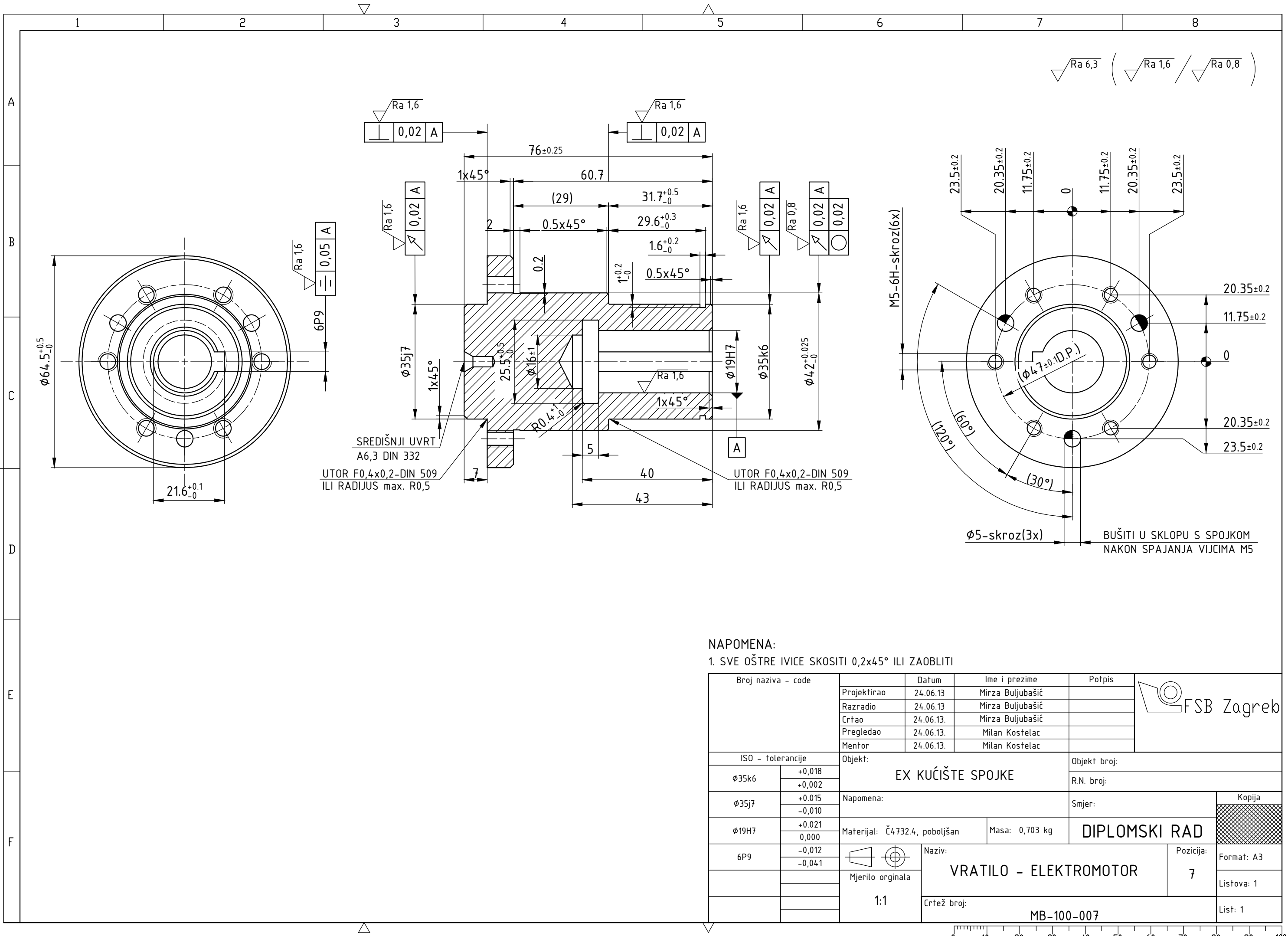


$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 1,6}$ / $\sqrt{Ra\ 0,8}$)



NAPOMENA:
1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOKLITI

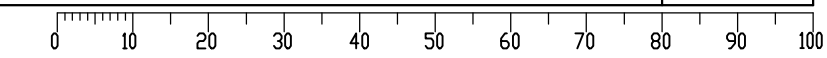
Broj naziva - code	Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić	Potpis	
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
$\phi 24k6$	+0,015 +0,002	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:	
$\phi 35k6$	+0,018 +0,002	Napomena:		Smjer:	
$\phi 19j6$	+0,009 -0,004	Materijal: Č4732.4, poboljššan	Masa: 0,716 kg	DIPLOMSKI RAD	
6P9	-0,012 -0,041	Mjerilo originala 1:1	Naziv:		Kopija
6P9	-0,015 -0,051		VRATILO - REDUKTOR		
Crtež broj:			MB-100-006		Format: A3
					Lista: 1
					Lista: 1

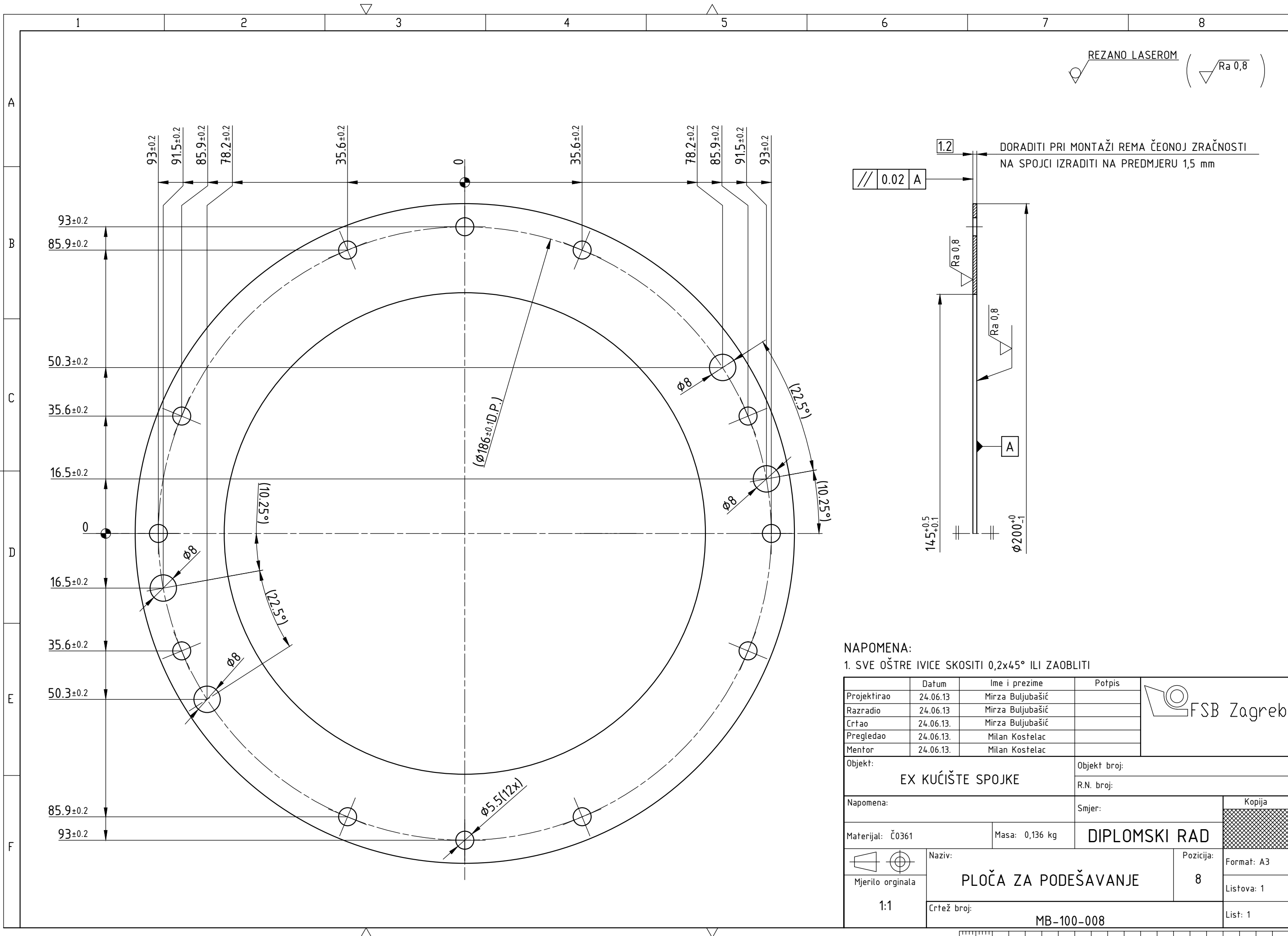


$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 1,6}$ / $\sqrt{Ra\ 0,8}$)

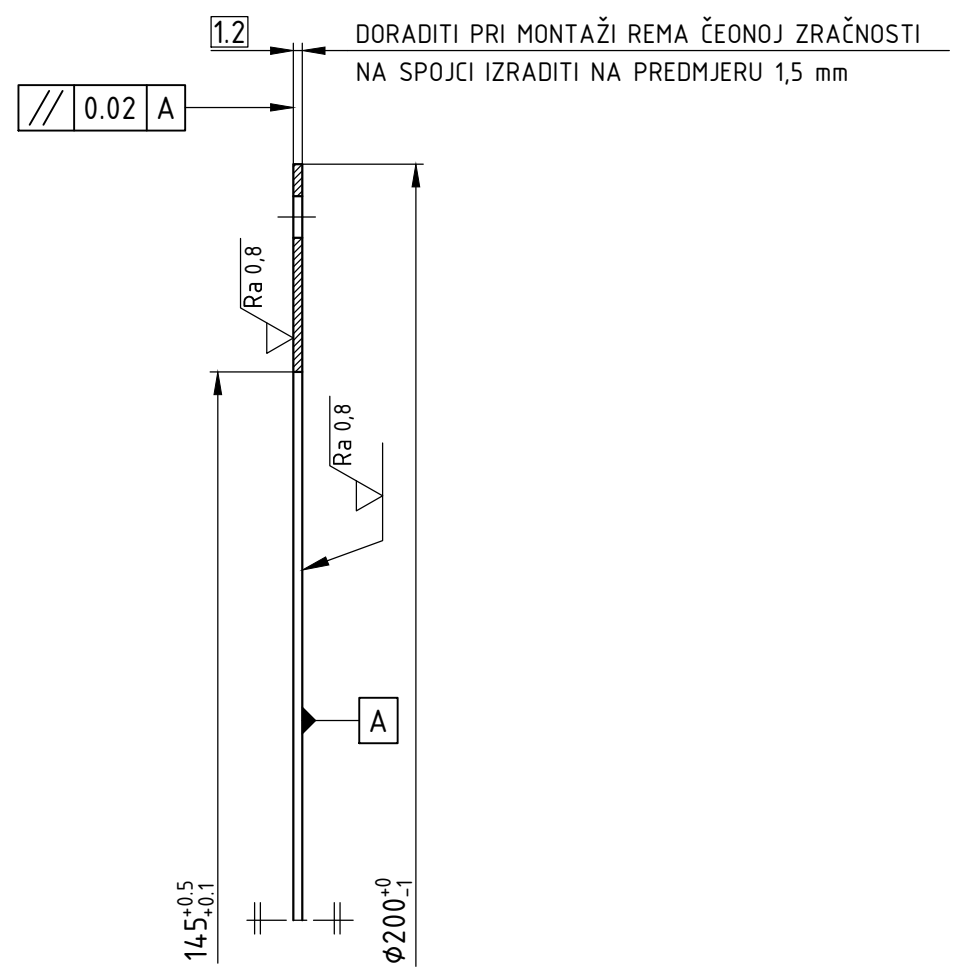
NAPOMENA:
 1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBLITI

Broj naziva - code	Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić	Potpis	
	Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
	Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
	Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
ISO - tolerancije		Objekt:		Objekt broj:	
φ35k6	+0,018	EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:	
	+0,002				
φ35j7	+0,015	Napomena:		Smjer:	
	-0,010				
φ19H7	+0,021	Materijal: Č4732.4, poboljššan		Masa: 0,703 kg	
	-0,012				
6P9	-0,041			DIPLOMSKI RAD	
	-0,041				
Mjerilo originala		Naziv:		Pozicija:	
1:1		VRATILO - ELEKTROMOTOR		7	
		Crtež broj:		Format: A3	
		MB-100-007		Listova: 1	
				List: 1	



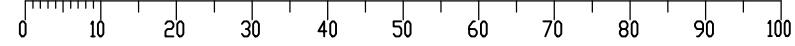


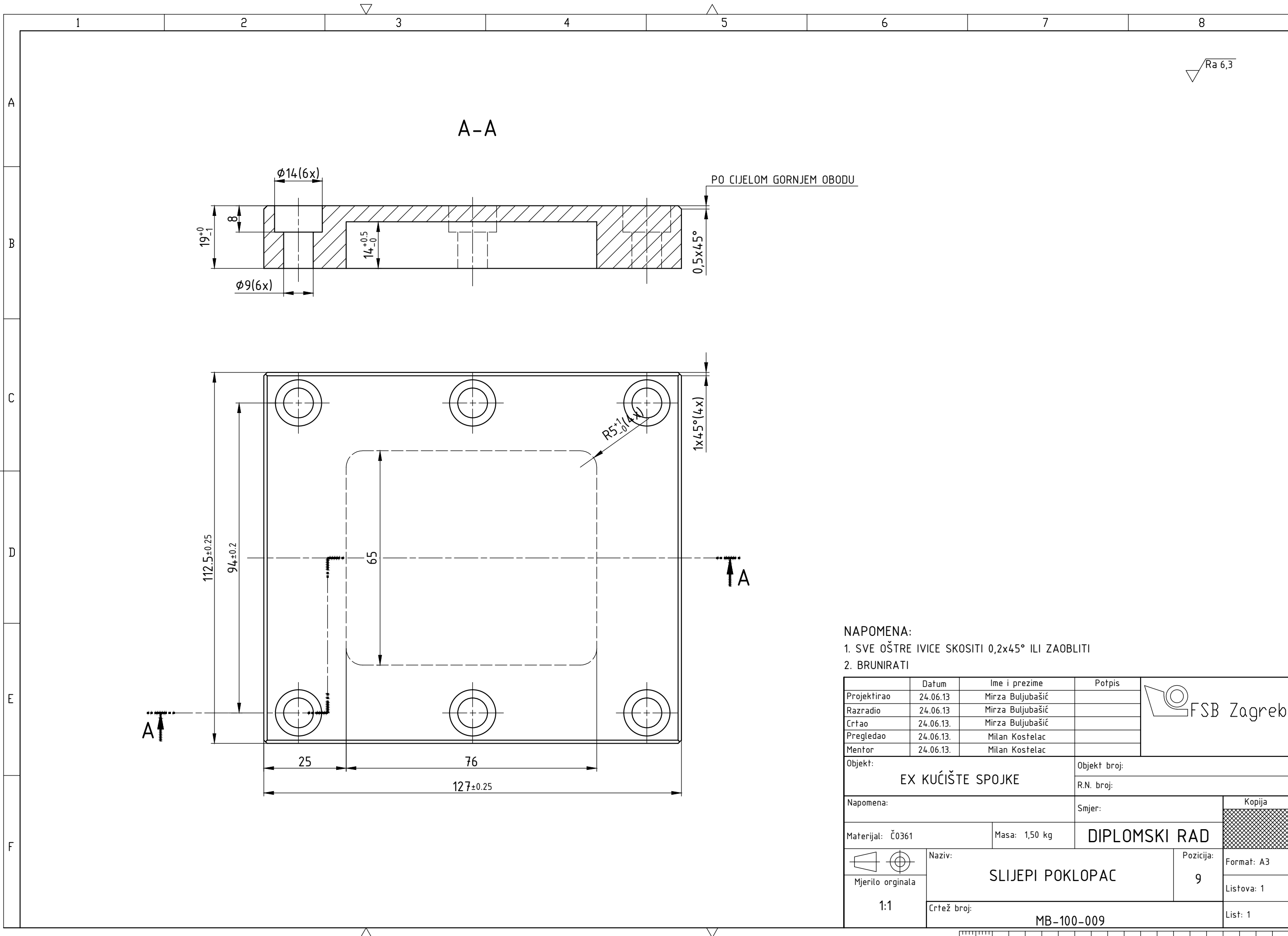
REZANO LASEROM (Ra 0,8)



NAPOMENA:
1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBITI

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:		Objekt broj:		Kopija
EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:		
Napomena:		Smjer:		
Materijal: Č0361		Masa: 0,136 kg		
DIPLOMSKI RAD				
Naziv:		Pozicija:		Format: A3
PLOČA ZA PODEŠAVANJE		8		Listova: 1
Mjerilo originala		Crtež broj:		List: 1
1:1		MB-100-008		

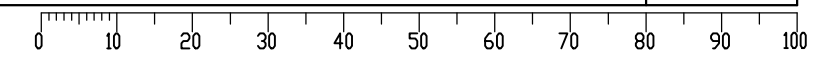


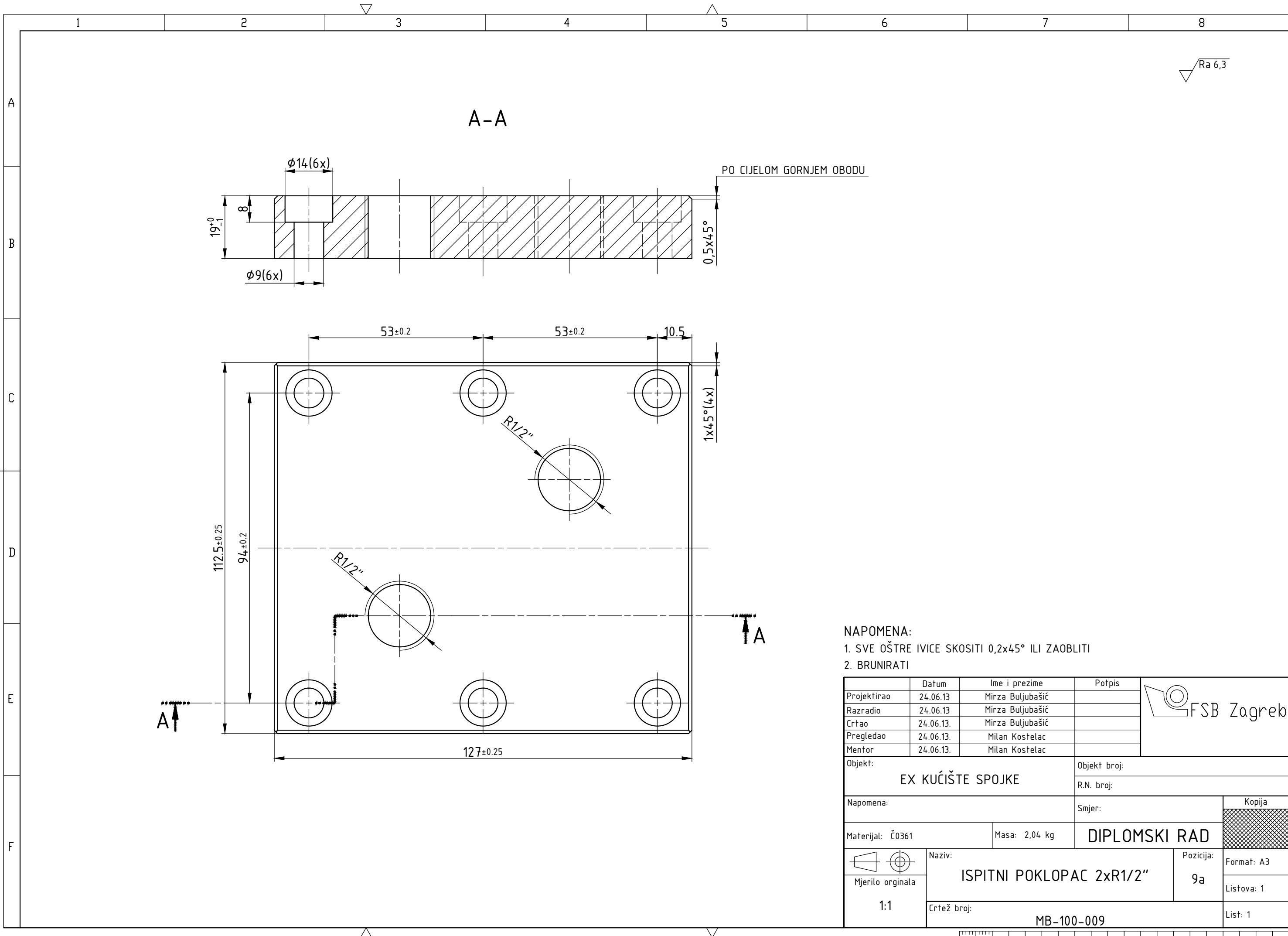


NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOBLITI
2. BRUNIRATI

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:		Objekt broj:		
EX KUĆIŠTE SPOJKE		R.N. broj:		
Napomena:			Smjer:	Kopija
Materijal: Č0361	Masa: 1,50 kg	DIPLOMSKI RAD		
	Naziv:		Pozicija:	Format: A3
Mjerilo originala	SLIJEPI POKLOPAC		9	Listova: 1
1:1	Crtež broj:		List: 1	
			MB-100-009	

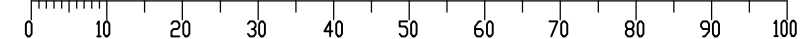


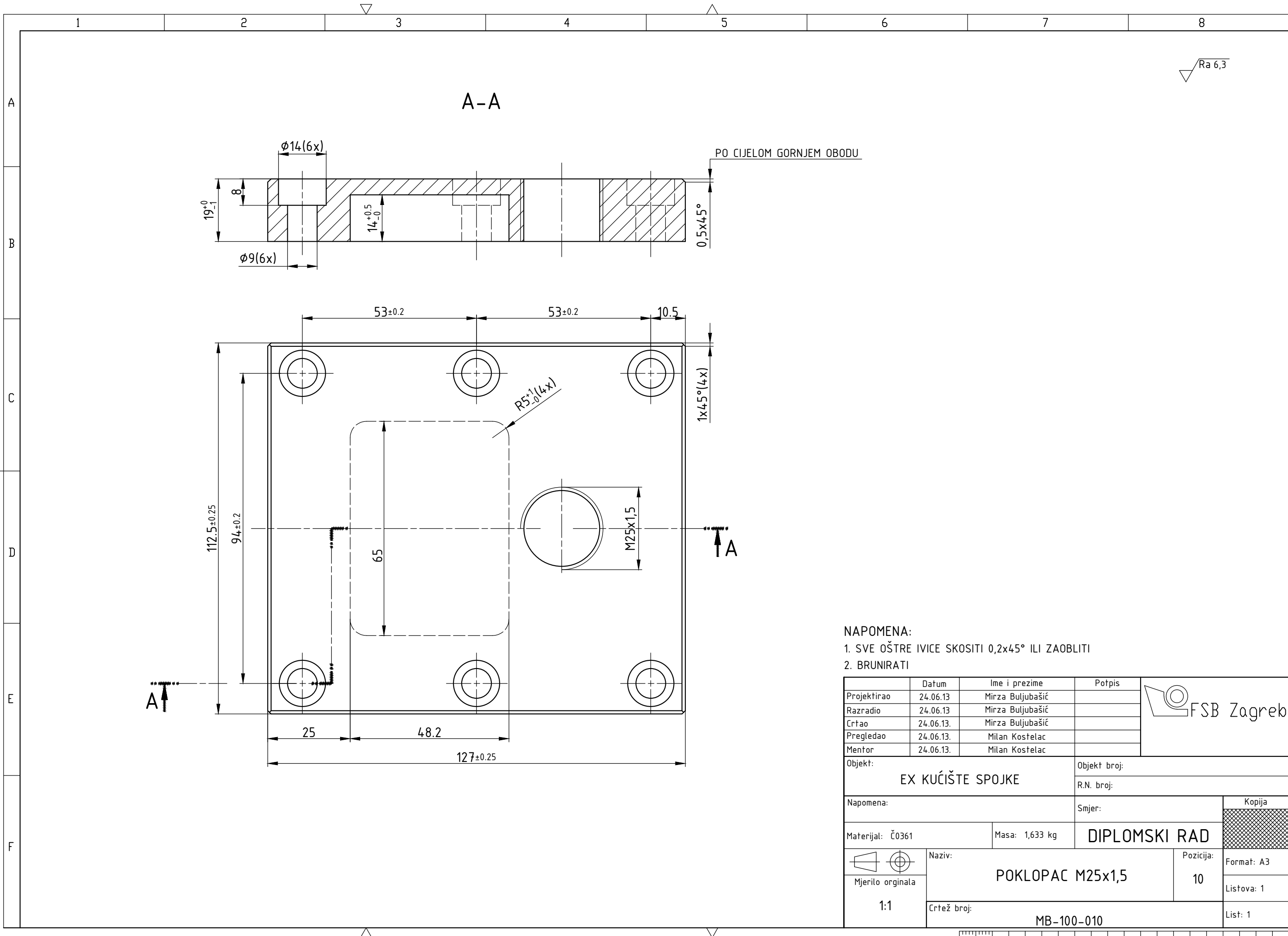


NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI $0,2 \times 45^\circ$ ILI ZAOBLITI
2. BRUNIRATI

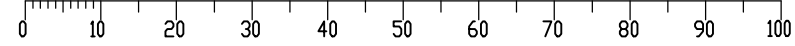
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić			
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić			
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac			
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac			
Objekt: EX KUĆIŠTE SPOJKE			Objekt broj:	Kopija	
			R.N. broj:		
Napomena:			Smjer:		
Materijal: Č0361		Masa: 2,04 kg	DIPLOMSKI RAD		
		Naziv: ISPITNI POKLOPAC 2xR1/2"			Pozicija: 9a
Mjerilo originala		1:1		Format: A3	
		Crtež broj: MB-100-009		Listova: 1	
				List: 1	

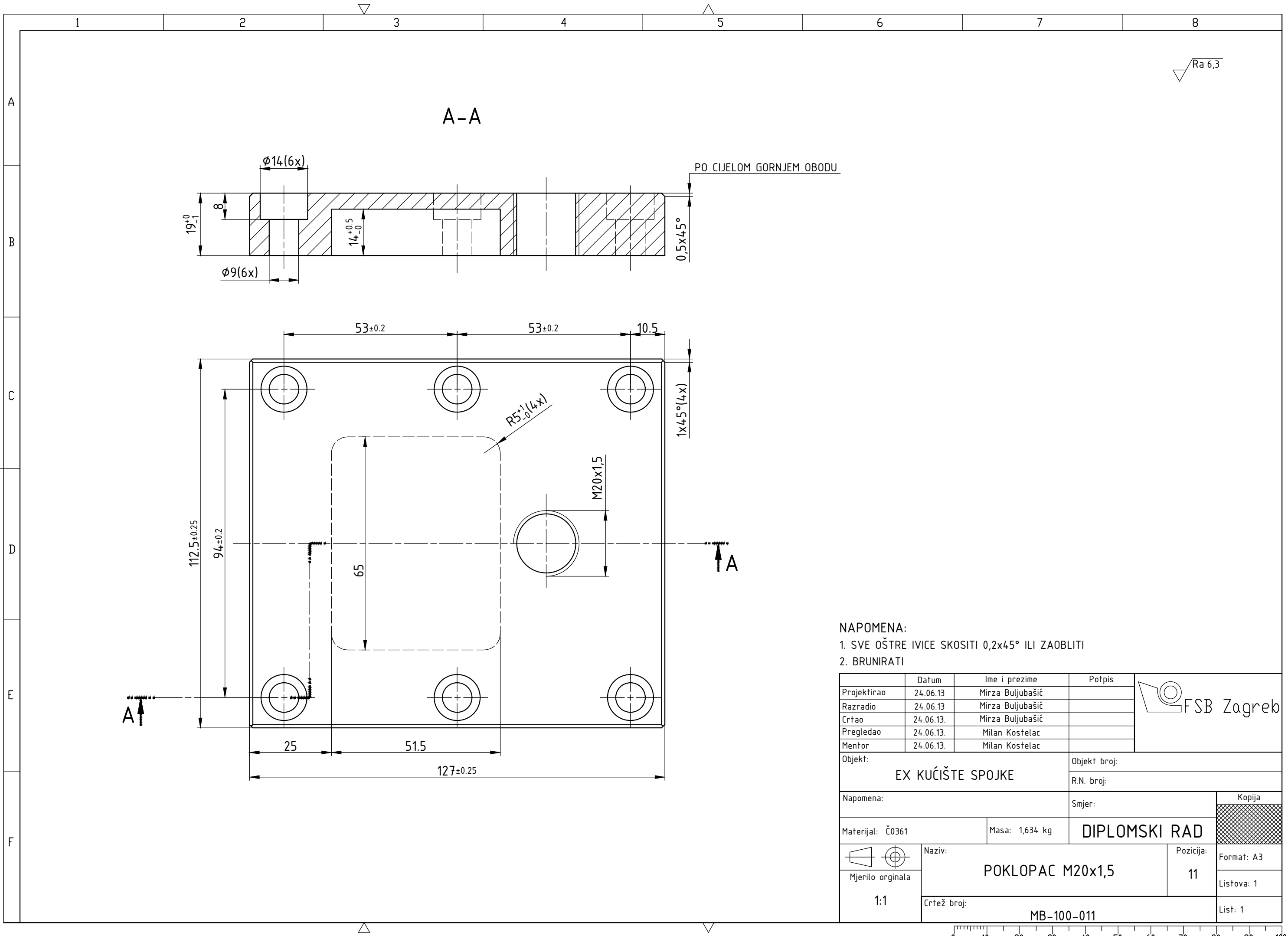




- NAPOMENA:**
1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOWLITI
 2. BRUNIRATI

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić			
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić			
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac			
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac			
Objekt: EX KUĆIŠTE SPOJKE			Objekt broj:		
			R.N. broj:		
Napomena:			Smjer:		
Materijal: Č0361		Masa: 1,633 kg	DIPLOMSKI RAD		
		POKLOPAC M25x1,5				Kopija
1:1		Naziv:		Format: A3	
		Pozicija: 10		Listova: 1	
		Crtež broj: MB-100-010		List: 1	

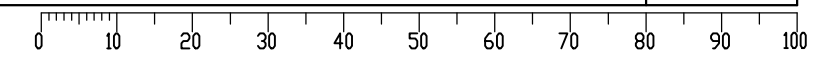




NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOBLITI
2. BRUNIRATI

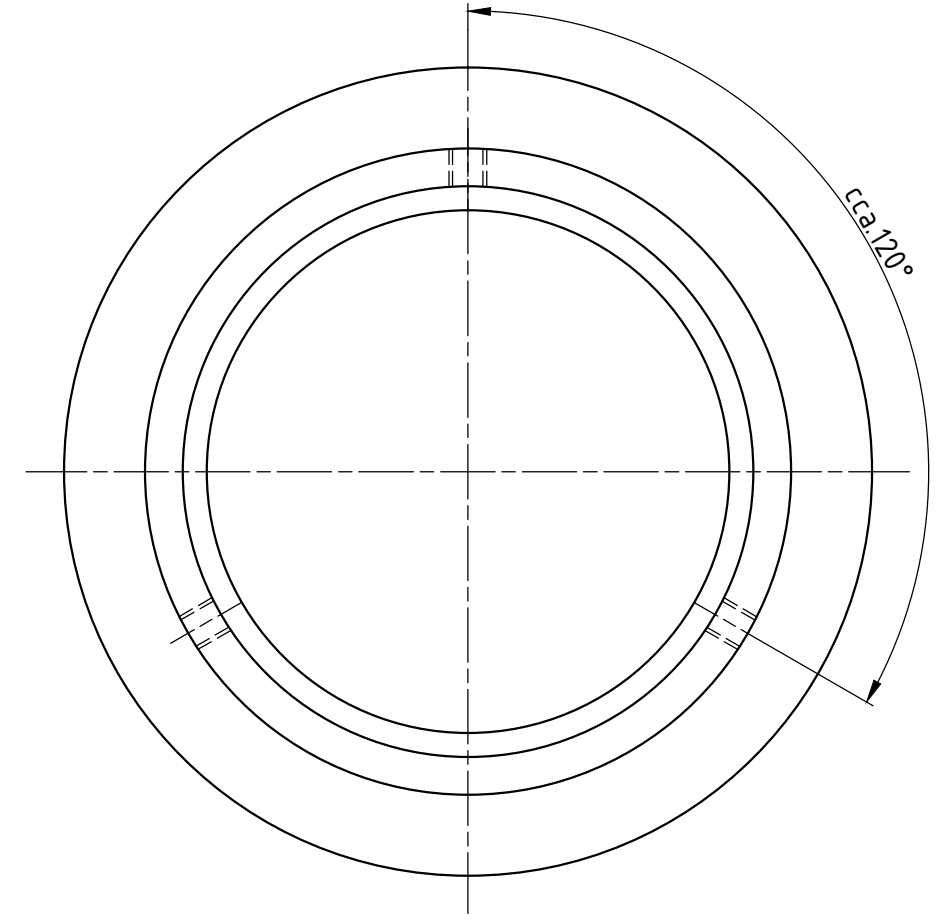
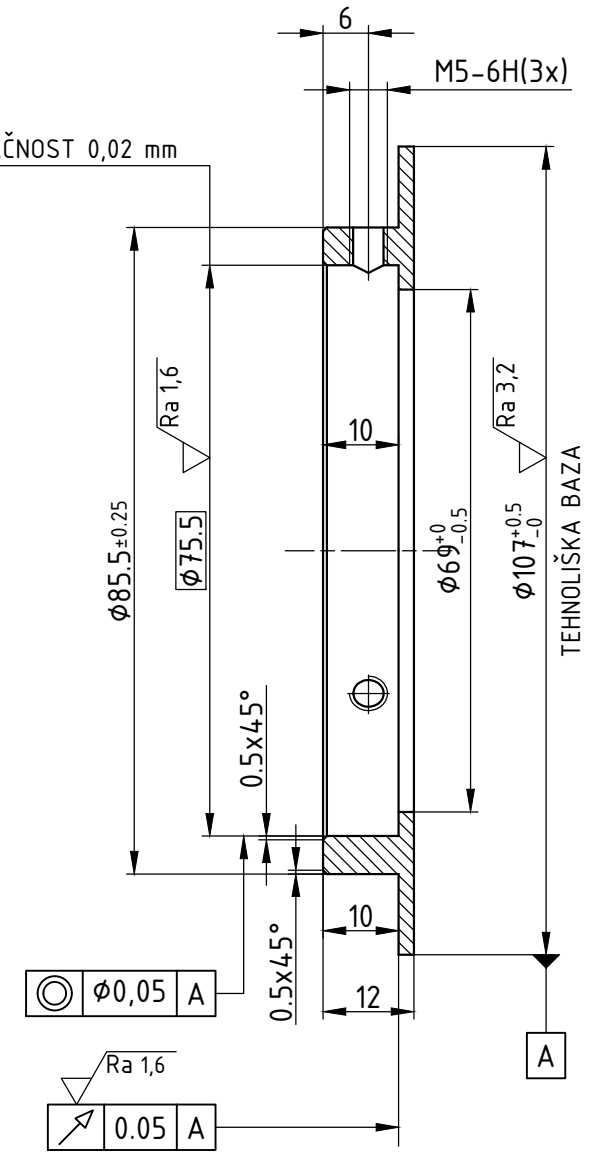
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:			Objekt broj:	
EX KUĆIŠTE SPOJKE			R.N. broj:	
Napomena:			Smjer:	
Materijal: Č0361		Masa: 1,634 kg	DIPLOMSKI RAD	
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		POKLOPAC M20x1,5		11
1:1		Crtež broj:		Format: A3
		MB-100-011		Listova: 1
				List: 1



1 2 3 4 5 6 7 8

$\sqrt{Ra\ 6,3}$ ($\sqrt{Ra\ 3,2}$ / $\sqrt{Ra\ 1,6}$)

PRIPASATI PREMA SPOJCI UZ MAX. ZRAČNOST 0,02 mm
IZRADITI NA PREDMJERU $\phi\ 72$

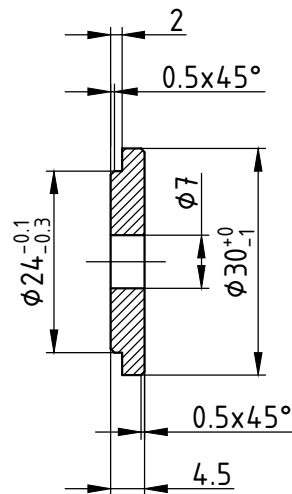


NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI $0,2 \times 45^\circ$ ILI ZAOBLITI

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13	Milan Kostelac		
Objekt:		EX KUĆIŠTE SPOJKE		Objekt broj:
Napomena:				R.N. broj:
Materijal:	Č1530	Masa:	0,18 kg	DIPLOMSKI RAD
Mjerilo originala	1:1	Naziv:	ŠEŠIR SENZORA	Pozicija:
		Crtež broj:		12
		MB-100-012		Format: A3
				Listova: 1
				List: 1

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

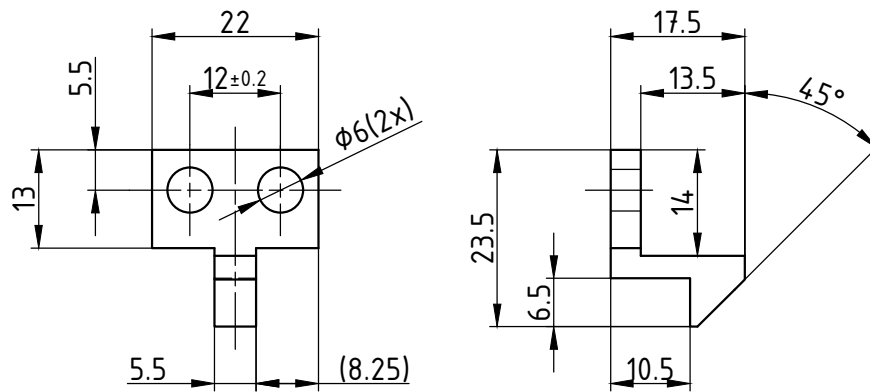


NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBLITI

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13.	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13.	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13.	Milan Kostelac		
Objekt:		EX KUĆIŠTE SPOJKE		Objekt broj:
				R.N. broj:
Napomena:			Smjer:	Kopija
Materijal: Č1530		Masa: 0,02 kg	DIPLOMSKI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	Mjerilo originala		13		Listova: 1
1:1		Crtež broj:		List: 1
		MB-100-013		

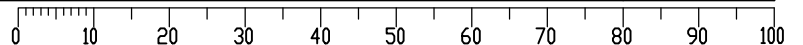
Ra 6,3



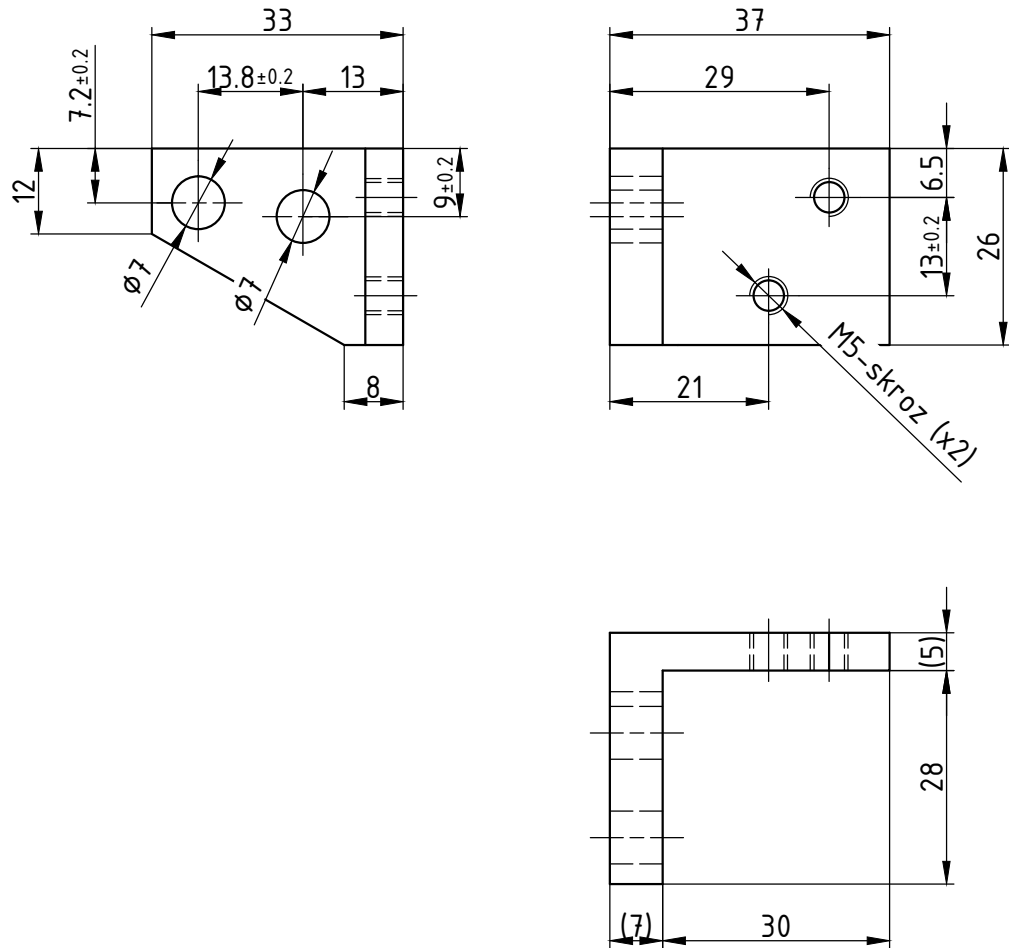
NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBLITI

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13.	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13.	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13.	Milan Kostelac		
Objekt:			Objekt broj:	
EX KUĆIŠTE SPOJKE			R.N. broj:	
Napomena:			Smjer:	Kopija
Materijal: Č0361		Masa: 0,011 kg	DIPLOMSKI RAD	
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		GREBEN		14
1:1		Crtež broj:		Format: A4
		MB-100-014		Listova: 1
				List: 1



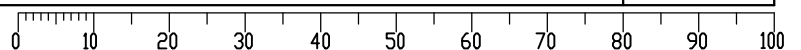
Ra 6,3



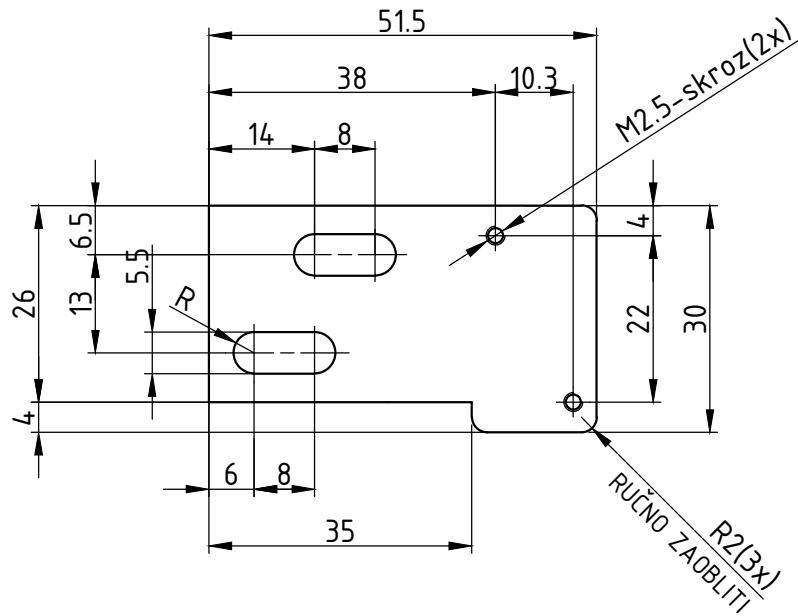
NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLBITI

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13.	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13.	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13.	Milan Kostelac		
Objekt:			Objekt broj:	
EX KUĆIŠTE SPOJKE			R.N. broj:	
Napomena:			Smjer:	
Materijal: Č0361		Masa: 0,063 kg	DIPLOMSKI RAD	
		Naziv:		Pozicija:
Mjerilo originala		KUTNIK		15
1:1		Crtež broj:		Format: A4
		MB-100-015		Listova: 1
				List: 1



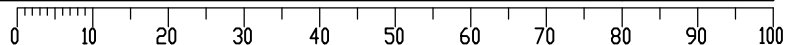
Ra 6,3



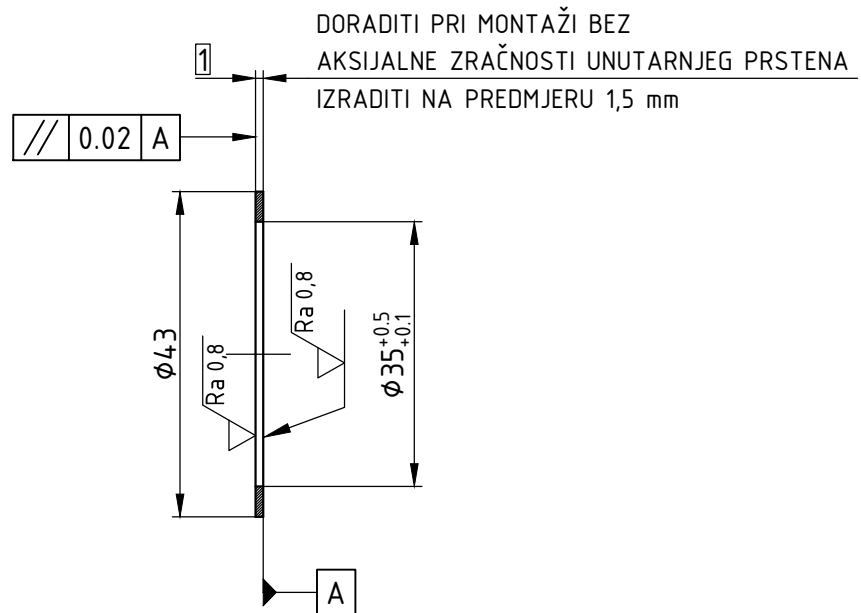
NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI 0,2x45° ILI ZAOLITI

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13.	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13.	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13.	Milan Kostelac		
Objekt:			Objekt broj:	
EX KUĆIŠTE SPOJKE			R.N. broj:	
Napomena:			Smjer:	Kopija
Materijal: Č0361		Masa: 0,03 kg	DIPLOMSKI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	
Mjerilo originala	KLIZAČ PREKIDAČA		16	Format: A4
1:1	Crtež broj:			Listova: 1
	MB-100-016			List: 1



$\sqrt{Ra\ 0,8}$ ($\sqrt{Ra\ 6,3}$)



NAPOMENA:

1. SVE OŠTRE IVICE SKOSITI $0,2 \times 45^\circ$ ILI ZAOBLITI

	Datum	Ime i prezime	Potpis	
Projektirao	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Razradio	24.06.13	Mirza Buljubašić		
Crtao	24.06.13.	Mirza Buljubašić		
Pregledao	24.06.13.	Milan Kostelac		
Mentor	24.06.13.	Milan Kostelac		
Objekt:			Objekt broj:	
EX KUĆIŠTE SPOJKE			R.N. broj:	
Napomena:			Smjer:	Kopija
Materijal: Č0361		Masa: 0,004 kg	DIPLOMSKI RAD	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A4
	PRSTEN		17	
Mjerilo originala	Crtež broj:			Listova: 1
1:1	MB-100-017			List: 1

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100